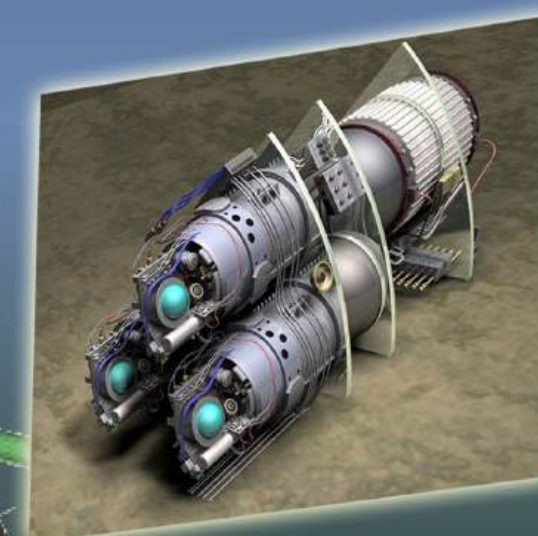
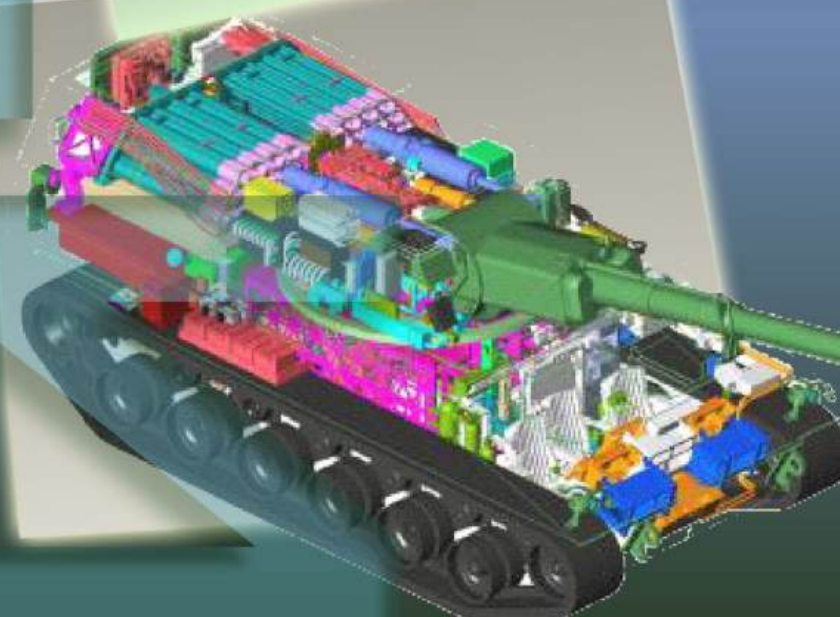
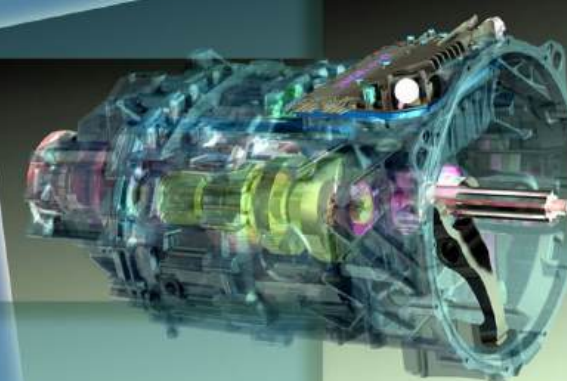
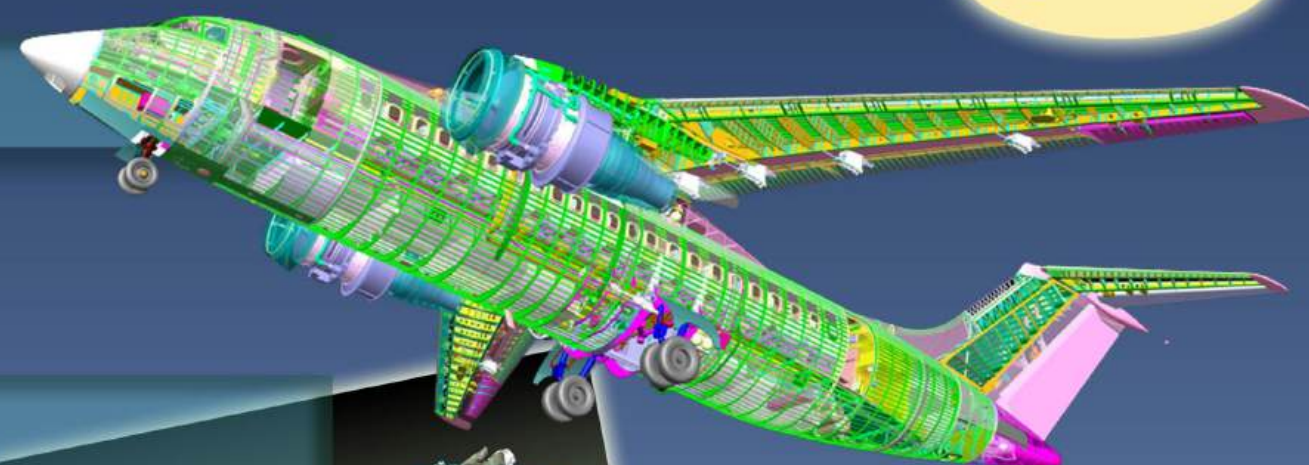


Индекс 79378

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

в проектировании и производстве

№ 1' 2021





Все новейшие достижения и современные разработки предприятий оборонного комплекса — в научно-технических журналах ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас»

ФГУП «Научно-технический центр оборонного комплекса «Компас» является издателем следующих научных журналов:



Межотраслевой научно-технический журнал
Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России
(4 выпуска)
Подписной индекс **79379**
Издается с 1984 года



Межотраслевой научно-технический журнал
Конструкции из композиционных материалов
(4 выпуска)
Подписной индекс **80089**
Издается с 1981 года



Научно-технический журнал
Информационные технологии в проектировании и производстве
(4 выпуска)
Подписной индекс **79378**
Издается с 1976 года



Межотраслевой научно-практический журнал
Экология промышленного производства
(4 выпуска)
Подписной индекс **80090**
Издается с 1993 года



Научно-практический журнал
Вопросы защиты информации
(4 выпуска)
Подписной индекс **79187**
Издается с 1974 года

Все издания ФГУП «Научно-технический центр оборонного комплекса «Компас»:

✓ включены решением ВАК Министерства науки и высшего образования России в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук;

✓ метаданные выпусков включены в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).

Более подробную информацию об изданиях, подписке, дополнительных услугах можно получить по тел.: 8 (495) 491-43-17, 8 (495) 491-77-67, 8 (495) 491-77-20 (подписка);
факс: 8 (495) 491-44-80.
E-mail: izdanie@ntckompas.ru

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ И ПРОИЗВОДСТВЕ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР
ОБОРОННОГО КОМПЛЕКСА
«КОМПАС»

№ 1 (181) 2021

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Основан в 1976 г.

Главный редактор

И. А. Шеремет, чл.-кор. РАН, д-р техн. наук, проф., заместитель директора Российского фонда фундаментальных исследований по научной работе

Заместитель главного редактора

В. Н. Гридин, д-р техн. наук, проф., научный руководитель ЦИТИ РАН

Ответственный секретарь

Г. П. Глотова, ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас»

Редакционная коллегия:

В. В. Бордюже, д-р техн. наук, проф., Координационный совет по информационным технологиям предприятий ОПК РФ; А. И. Громов, канд. хим. наук, НИУ «Высшая школа экономики»; В. В. Кондратьев, чл.-кор. РАН, д-р техн. наук, проф., Нижегородский государственный технический университет им. Р. А. Алексеева; Ю. Н. Кофанов, д-р техн. наук, проф., МИЭМ НИУ ВШЭ; С. А. Матвеев, канд. техн. наук, ФГУП «ЦНИИмаш»; Е. И. Митрушкин, д-р техн. наук, проф., АО «НИИАА»; С. В. Назаров, д-р техн. наук, проф., ЗАО «Московский научно-исследовательский телевизионный институт»; М. А. Пирогова, канд. техн. наук, НИУ МЭИ; С. В. Понов, д-р техн. наук, Холдинг «Швабе»; А. Ф. Ронжин, д-р физ.-мат. наук, проф., Вычислительный центр им. А. А. Дородницына; П. О. Скобелев, д-р техн. наук, НАО «Группа компаний «Генезис знаний», СамГТУ; В. В. Солюмин, канд. воен. наук, ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас»; А. П. Солнцев, д-р воен. наук, проф., ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас»; Е. В. Судов, д-р техн. наук, проф., НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика»; А. В. Цыков, д-р техн. наук, проф., ГКНПЦ им. М. В. Хруничева; В. А. Шахнов, чл.-кор. РАН, д-р техн. наук, проф., МГТУ им. Н. Э. Баумана; Е. И. Шульгин, д-р техн. наук, НИЦ при президиуме АИИ им. А. М. Прохорова

☎ редакции (495) 491-43-17
E-mail: izdanie@ntckompas.ru
http://ntckompas.ru

Информационные технологии
в проектировании и производстве:
Науч.-техн. журн./ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас», 2021.
№ 1 (181). С. 1—52.

Редактор О. А. Константинова
Компьютерная верстка: Н. В. Ильина,
К. В. Трыкина

Подписано в печать 21.01.2021.
Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 6,0. Уч.-изд. л. 6,2.
Заказ 1965. Тираж 250 экз.
Адрес редакции: 125424, Москва,
Волоколамское ш., 77, ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас».
Отпечатано: 101000, Москва,
Лубянский проезд, д. 15, стр. 4, офис 105.
ИП Кириченко Алексей Викторович.
Индекс 79378. 8 статей.

Статьи рецензируются.

© Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр оборонного комплекса «Компас», 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Инновационные технологии решения задач проектирования, моделирования и производства

- Пирогова М. А., Лешихина И. Е., Краюшкин В. А.* Обзор применимости популярных платформ дополненной реальности для задач современного дискретного производства 3
- Власов А. И., Смагулов Н. Б.* Особенности применения визуальной методики ARIS для моделирования производственных процессов 8
- Бутко А. О.* Реализация инженерных расчетов в среде структурно-параметрического моделирования 14
- Винарская Г. А., Волкова Г. Д.* Классификация и выявление внешних связей управляющей компании при многоуровневом моделировании энергетических систем 20
- Суринов В. И., Адаменков А. К., Малахов И. В., Ожерельев В. Д.* Спектральный анализ результатов электрофизического неразрушающего контроля технологического оборудования АЭС 27

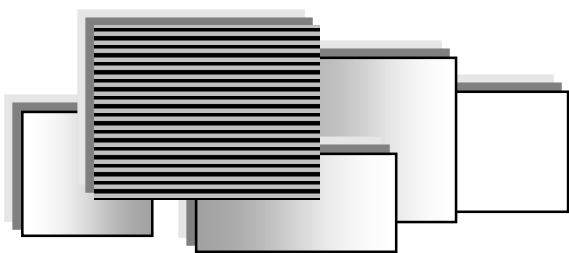
Прикладные задачи применения информационных технологий

- Коган Ю. Г., Щербина А. А.* Преобразование структурной модели бизнес-процесса в имитационную, основанную на модифицированной раскрашенной сети Петри 31
- Шабанов Е. Э., Фахрисламов И. И., Чекулаев П. Н.* Оптимизация информационных процессов на предприятии. "Интеграционная шина ESB" 38
- Шубин Р. В., Прокофьев Г. И.* Модели структуры информационных технологий научно-производственной организации 42

INFORMATION TECHNOLOGY OF CAD/CAM/CAE

THE SCIENTIFIC JOURNAL

Information on recent advances in CAD/CAM/CAE, industry & business & complex information technology, including methods and tools of computer graphing, geometrical and mathematical modeling, database control methods on estimation and provision of control and reliability.



ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА

УДК 338.364

ОБЗОР ПРИМЕНИМОСТИ ПОПУЛЯРНЫХ ПЛАТФОРМ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ ДЛЯ ЗАДАЧ СОВРЕМЕННОГО ДИСКРЕТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

М. А. Пирогова, канд. техн. наук; И. Е. Лешихина, канд. техн. наук
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет
«Московский энергетический институт», Москва, Россия

В. А. Краюшкин, канд. техн. наук
ООО «Продуктивные технологические системы», Москва, Россия

Рассмотрены возможности применения технологии дополненной реальности для промышленного производства. Дан сравнительный анализ индустриальной применимости платформ AR-разработки.

Ключевые слова: дополненная реальность, платформа разработки приложений дополненной реальности, промышленный Интернет вещей.

Внедрение технологий цифровой трансформации для современного дискретного производства и распространение цифровых информационных потоков для сопровождения, технического обслуживания результатов такого производства — один из самых важных аспектов эффективной модернизации экономики. Когда речь заходит о цифровой трансформации по отношению к дискретному производству, производству современных высокотехнологичных сложных подключаемых к сетевому обмену данными изделий (smart things, "интеллектуальных подключаемых изделий"), обычно принято говорить о выстраивании бизнес-процессов во всей цепочке проектирование—производство—передача заказчику—эксплуатационное сопровождение—сервисное обслуживание в технологиях промышленного Интернета вещей (IIoT) и/или в технологиях Индустрии-4.0. Принципиальное отличие информационного сопровождения в технологиях IIoT по сравнению с классическими системами документооборота и информационного сопровождения бизнес-процессов состоит в том, что в терминах Индустрии-4.0 информационные потоки, обеспечивающие эффективное выполнение всех бизнес-процессов на протяжении всех этапов жизненного цикла изделия, рассматриваются как еди-

ное информационное целое (так называемые цифровые нити жизненного цикла изделия). Одна из важных составляющих цифровых нитей в IIoT — техника представления визуальной дополнительной информации в виде дополненной реальности. Таким образом, при выполнении цифровой трансформации всех бизнес-процессов для современного дискретного производства одной из важных задач является правильный выбор инструментальных средств разработки таких приложений дополненной реальности для различных этапов жизненного цикла изделий, которые наилучшим образом интегрируют в общую структуру IIoT-проекта, обладают универсальностью по отношению к различным информационным задачам на разных этапах жизненного цикла изделия.

Задача авторов данной работы — дать краткий, но полноценный обзор актуальных программных систем и платформ дополненной реальности, которые можно считать приемлемыми для цифровой трансформации производства, позиционируемых именно как ПО для разработки приложений дополненной реальности под задачи IIoT, для которых можно предложить набор критериев для объективного сравнения.

Рынок AR-систем для промышленного применения

В [1] авторы данной работы пытались дать краткий обзор рынка платформ разработки приложений дополненной реальности для промышленного применения. Однако рынок ПО для ИИТ меняется довольно активно и динамика этого процесса не снижается. В результате выводы, сделанные в [1], устарели и необходим новый обзор.

Рассмотрим рынок ПО по созданию контента дополненной реальности для Индустрии-4.0/ИИТ 2019—2020 гг. К наиболее часто применяемым в промышленности (в машиностроении и сопровождении изделий машиностроения) платформам и программным средам дополненной реальности относятся следующие (перечислены в алфавитном порядке): Daqri, Diota, RE'FLEKT, Ubimax; Upskill, Unity, Vuforia Studio, Waking App, Wikitude.

Набор применимых в индустриальных AR-проектах систем и платформ приведенным списком не ограничивается, но подавляющее большинство успешных AR-проектов выполняли и выполняют именно в этих системах.

Частота появления отзывов об успешных реальных AR-проектах того или иного "имени" из приведенного списка зависит от тех начальных условий, которые устанавливались отраслевым заказчиком приложения дополненной реальности. Если попытаться классифицировать условия применения AR-проектов для задач Индустрии 4.0, то четко определились четыре направления, специфицирующие разработку приложений дополненной реальности:

- общецелевые приложения дополненной реальности со слабой структурой и специализацией, отображающей специфику конкретных бизнес-процессов или структуру рабочих мест предприятий заказчика, но с богатыми возможностями по разработке объектной составляющей дополненной реальности и широким набором инструментальных средств объектно-ориентированного программирования. Назовем это направление универсальным;
- приложения в технике 3D Mixed reality, в которых активно используют дополненную реальность с привязкой к конкретным бизнес-процессам и с возможностью отображения приложений на инфраструктуру рабочего места, сводящие к минимуму дополнительные работы по низкоуровневому объектно-ориентированному программированию;
- приложения в технике 2D Assisted Reality, в которых дополненная реальность представлена в виде 2D информационных объектов с возможной привязкой к пошаговому выполнению бизнес-процессов;
- приложения дополненной реальности, которые разрабатывают с максимальным использованием особенностей конкретных устройств конечного пользователя — "проприетарные"

приложения дополненной реальности по отношению к аппаратной части AR-приложения промышленного применения.

Эти четыре группы не являются строго определяемыми, границы между ними достаточно размыты, однако в том, что касается выбора той или иной системы/платформы разработки AR-приложений, такая классификация оказывается полезной и показывает, какие из представленных на рынке систем выходят на лидерские позиции в той или иной группе и почему.

Группа "универсальные" платформы AR. В этой группе однозначно лидируют Unity, Waking App и Wikitude. Кроме того, сюда же ранее относили системы разработки приложений Amazon Sumerian и Unreal. Однако за последние три-четыре квартала активность именно индустриального применения первых трех систем, особенно Unity в связке с Vuforia Engine, снизила востребованность Amazon Sumerian и Unreal для применения их в качестве универсальных.

Группа 3D Mixed Reality. В этой группе — группе уже платформ, а не программных сред дополненной реальности — лидеры RE'FLEKT и Vuforia Studio. В популярной технической периодике по AR в качестве успешных конкурентов ранее рассматривались также Scope AR, CN2, JoinPad и VISCOPIK, однако получение и выполнение крупных промышленных AR-контрактов под управлением RE'FLEKT и Vuforia Studio способствовало укреплению однозначного лидерства последних в этой группе.

Группа "2D Assisted Reality". В этой группе лидерство определяется уже не так однозначно, однако можно выделить компании, предлагающие наиболее законченные методики создания проектов промышленного применения. К лидерам в группе 2D Assisted Reality относятся Ubimax, Upskill и Vuforia Studio, а также Dozuki, ProCeedIx, ATHEER, VKS, но первые три системы в отличие от второй четверки обеспечивают, кроме применения на широком ассортименте AR-устройств, еще и возможность интеграции с корпоративными системами класса FSM и ERP.

Группа "проприетарная AR". В этой группе лидерство систем программного обеспечения существенно зависит от востребованности промышленностью того или иного аппаратного обеспечения (как правило, носимых устройств дополненной реальности, "очков AR"). ПО в этой группе — это просто встроенное ПО для применяемых очков. Здесь успех использования тем выше, чем точнее подогнано ПО, чем "глубже" оно встроено в ПО соответствующего аппаратного обеспечения. В последнее время в качестве эталонов промышленных программируемых очков дополненной реальности фигурирует носимое устройство DAQRI, а в качестве проектора дополненной реальности на рабочую операционную зону — DIOTA. Присутствие на рынке других известных проприетарных

AR-решений, таких, как Light Guide Systems, TULIP или от Projection Worx, существенно снизилось.

Для уточнения сравнений выявленных лидеров платформ дополненной реальности по сопоставимым характеристикам AR-приложений обратимся к табличному представлению, в котором параметры сравнения разделены по типовым группам:

- наличие средств разработки AR-приложений;
- наличие средств распознавания и отслеживания;
- средства для интеграции AR-приложений и третьесторонних программных систем;

- совместимость разработки с оконечными устройствами пользователей.

Исходные данные получены авторами:

- путем активного участия в программах AR for Enterprise Alliance (AREA) [2];
- в результате обзора публикаций в проблемно-ориентированных сетевых изданиях;
- за счет непосредственного изучения некоторых из представленных платформ и примеров их промышленного использования;
- в результате участия в форумах и дискуссионных площадках по промышленному применению технологий AR [3, 4].

Результаты сравнительного анализа платформ AR приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты сравнительного анализа платформ AR

Показатель	Платформа	Vuforia Studio	RE'FLEKT	Upskill	Ubimax	Diota	Daqri	WakingApp	Wikitude	Unity
	Тип	3D Mixed	3D Mixed	2D Assisted	2D Assisted	Проприетарная	Проприетарная	Универсальная	Универсальная	Универсальная
Разработка	Поддержка 3D CAIP	" + "	" + "	" - "	" - "	" о "	" - "	" - "	" - "	" о "
	Поддержка Multi-Media	" + "	" + "	" + "	" + "	" + "	" + "	" + "	" + "	" + "
	2D Пользовательский интерфейс	" + "	" - "	" + "	" + "	" - "	" + "	" - "	" - "	" + "
	3D Редактор AR сцены	" + "	" + "	" - "	" - "	" + "	" - "	" + "	" + "	" + "
	3D Анимация	" + "	" + "	" - "	" - "	" + "	" о "	" о "	" - "	" о "
Таргетинг и треккинг	По метке	" + "	" - "	" - "	" - "	" - "	" - "	" - "	" + "	" + "
	По изображению	" + "	" + "	" - "	" - "	" о "	" о "	" + "	" + "	" + "
	С привязкой к горизонтальной поверхности	" + "	" - "	" - "	" - "		" - "	" + "	" + "	" + "
	С распознаванием по 3D-модели	" + "	" + "	" - "	" - "		" - "	" - "	" - "	" + "
	С распознаванием самого объекта	" - "	" - "	" - "	" - "		" о "	" - "	" + "	" + "
Интеграция	Back End Integration	" + "	" о "	" + "	" + "	" + "	" + "	" - "	" - "	" - "
	Интеграция с IoT/IIoT	" + "	" о "	" о "	" о "	" + "	" + "	" - "	" - "	" - "
	Связь с удаленным экспертом	" о "	" + "	" + "	" + "	" - "	" + "	" - "	" - "	" - "
Совместимость	Смартфоны/планшеты	" + "	" + "	" + "	" + "	" о "	" - "	" + "	" + "	" + "
	Монокуляры (Assisted)	" + "	" - "	" + "	" + "	" - "	" - "	" - "	" + "	" + "
	Наголовные носимые устройства HMD (3D Mixed)	" + "	" + "	" о "	" о "	" + "	" о "	" - "	" - "	" + "
	Расширения	" + "	" - "	" + "	" - "	" - "	" - "	" + "	" + "	" + "

Примечание. "+" — есть; "о" — частично; "-" — нет сведений о промышленном применении.

Если судить о применимости рассматриваемых платформ-лидеров, то ко второй половине 2020 г. у авторов накопилось множество сведений о той или иной степени успешности применения разработок на рассматриваемых платформах в тех или

иных отраслях промышленности. Сводные данные, отражающие присутствие разработанных на рассматриваемых платформах AR-решений и качество охвата этими решениями бизнес-процессов производства, сведены в единую таблицу (табл. 2).

Таблица 2

Присутствие разработанных на рассматриваемых платформах AR-решений
и качество охвата или бизнес-процессов

Платформы Отрасли	REFLEKT*	Vuforia	Upskill	Ubimax	Diota	WakingApp	Wikitude	Unity
Машиностроение	Trumpl, Leybold Seepex, Slemens	Caterpillar, Howden	Honeywell, GE, Schneider Electric, Trumpl	John Deere, Saint-Gobain, Slemens	ABB, Alr Liquilde	Siemens, Erudito		General Purpose
Автомобилестроение	Daimier, Jaguar, Audi, BMW, Hyundai, Land Rover, Mercedes, Porsche, VW	Toyota VW KTM Cannondale E-GO BAE Systems	Toyota	Audi, BMW, Daimier, Opel, VW	Renault Trucks, Daimler, PSA Group, VW, Opel		Porsche	
Авиастроение и оборонная про- мышленность		Boeing Airbus Cirrus	Boeing, GE, Lockheed Martin, Rolls Royce	Embraer	Airbus, Safran, Dassault Aviation, Sonaca, AirFrance			
Электроника		Epson, Phillips	Dell	Intel, Samsung				
ТНП		Unilever, Hoegarden	Coca Cola	Unilever				
Логистика		DPD	Ryder	DHL, Syncreon, BLG Logisffcs				
Энергетика и нефтепереработка	Trinasolar		Baker- Hughes, GE Energy	BD, Cleanergy	SAFRAN, Total			
Продажи			Unnamed	Penny Market			Roomle, Zalando	
Телекоммуникация и связь			Telstra	Vodafone				
Медицинское оборудование	Getinge			IQMedworks				
Фармацевтика	BASF			BASF				
Транспорт	Hyperloop				Axis 3D			

	— активное использование
	— частичное использование
	— фрагментарное использование

В приводимых материалах совершенно не отражена роль отечественных IT-компаний в разработке AR-приложений для промышленности. Дело в том, что задача эффективной и современной разработки AR-приложений для российской экономики сильно диспергирована: с одной стороны, стратегическое внедрение промышленных AR-решений по силам только крупным компаниям, которые ориентируются на мировой опыт использования AR, а с другой — для такой постановки задачи слаб отечественный рынок AR-разработчиков, особенно использующих отечественный же софт (для оборонных отраслей машиностроения задача импортозамещения не просто актуальна, а обязательна). Технология дополненной реальности и технология виртуальной реальности признаны в рамках программы "Цифровая экономика Российской Федерации" сквозными технологиями, что означает, что они оказывают наиболее существенное влияние на развитие рынков наряду с искусственным интеллектом и робототехникой, которые получили такой же статус. Это, в свою очередь, означает, что в отечественных условиях внедрения цифровой трансформации экономики технологии AR пока не обрели статус самодостаточных, не рассматриваются вне связи AR—VR, практически пуст рынок отечественных вендоров AR-платформ. Если обратиться к самым свежим материалам Ассоциации дополненной и виртуальной реальности России и СНГ (AVRA) — площадки, на которой отмечены как самые перспективные заказчики современных технологий из промышленности, так и передовые отечественные вендоры AR—VR-решений [3], то карта ARVR (не отдельно, а все еще "вместе") российского рынка еще только будет составлена. Сбор анкет от компаний, желающих войти в эту карту, закончился (16 октября

2020 г.), и готовности более-менее достоверного индустриального ландшафта AR/VR отечественных вендоров вряд ли стоит ожидать до 2021 г., хотя прототип, как обещано, должен был быть представлен 23 ноября 2020 г. на открытии AVRA Days 2020 (в онлайн формате) [4]. Видимо, на этом форуме будет, наконец, сформировано отечественное представление об AR-технологиях как отдельном технологическом направлении, более относящемся к IoT, чем к VR.

Заключение

Представлен обзор передовых AR-платформ и систем разработки актуальных приложений дополненной реальности, предъявленных на IT-рынке. Состоятельность обзора подтверждается соответствующими примерами применения разработанных на указанных платформах решений в реальных отраслевых секторах экономики.

Литература

1. Краюшкин В. А., Лешихина И. Е., Пирогова М. А. Дополненная реальность: возможности применения для поддержки полного жизненного цикла изделия // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2017. № 1. С. 16—25.
2. AUGMENTED REALITY FOR ENTERPRISE ALLIANCE — AR Reviews [Электронный ресурс]. URL: <https://thearea.org/area-resources/ar-reviews/> (дата обращения: 24.10.2020).
3. Почему AR для промышленности перспективнее, чем VR? Ключевые выводы исследования с участием 50 компаний [Электронный ресурс]. URL: <https://4industry.ru/ar-vr-for-industry-2019> (дата обращения: 24.10.2020).
4. Карта AR/VR-рынка: свод и классификация компаний-разработчиков, создающих продукты с AR/VR/MR/360-технологиями и технологические решения [Электронный ресурс]. URL: <https://avradays.com/map> (дата обращения: 24.10.2020).

AN OVERVIEW OF THE APPLICABILITY OF POPULAR AUGMENTED REALITY PLATFORMS FOR THE TASKS OF MODERN DISCRETE MANUFACTURING

M. A. Pirogova, I. E. Leshikhina

National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Moscow, Russia

V. A. Krayushkin

LLC PTS, Moscow, Russia

The article discusses the possibilities of using augmented reality technology for industrial production, provides a comparative analysis of the industrial applicability of AR development platforms.

Keywords: augmented reality, AR-development platforms, industrial internet of things.

Пирогова Марина Аркадьевна, доцент.

E-mail: PirogovaMA@mpei.ru

Лешихина Ирина Евгеньевна, доцент.

E-mail: liy56@mail.ru

Краюшкин Владимир Анатольевич, руководитель проектов.

E-mail: vkray@pts-russia.com

Статья поступила в редакцию 26 октября 2020 г.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВИЗУАЛЬНОЙ МЕТОДИКИ ARIS ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

А. И. Власов, канд. техн. наук; Н. Б. Смагулов

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

Проведен системный анализ производственного процесса сборки электронного устройства с использованием визуальной методики ARIS (Architecture of Integrated Information Systems). Показаны подходы к формализации типовых функций исследуемой системы, для каждой функции — начальные и конечные события, ответственные исполнители, материальные и документальные потоки, сопровождающие. Проанализирован инструментарий методики ARIS, которая позволяет создать описание сложной системы не только удобным, но точным и понятным всем участникам проекта. Показано, как данная методика может быть использована для формального представления бизнес-процесса в виде последовательности функций, управляемых событиями. Даны рекомендации по применению методики ARIS при анализе производственных процессов электронной отрасли.

Ключевые слова: жизненный цикл, объекты, объектные модели, логические модели, бизнес-процессы, информационная система, инструменты моделирования, ARIS, EPC, IDS.

Анализ деятельности предприятий и цифровая реорганизация производственных процессов — чрезвычайно сложная задача, требующая методической и инструментальной поддержки. Появление новых технологий направлено на повышение качества и точности изготовления. При этом технологические процессы становятся более простыми, а их экономические характеристики должны гарантировать быструю окупаемость за счет снижения себестоимости продукции [1]. При решении задач системного анализа производственных процессов широкое распространение получили визуальные методы моделирования: IDEF [2—7], BPMN [8, 9], ArchiMate [10, 11], ARIS [12, 13] и т. д. Сравнительный анализ методов визуального моделирования сложных систем приведен в работах [14—19].

В общем случае под производственным процессом будем понимать устойчивую, целенаправленную совокупность взаимосвязанных видов деятельности, которая преобразует входы в выходы, представляющие ценность для потребителей [2]. Производственный процесс — это совокупность действий рабочих и орудий производства, в результате которых исходные материалы, полуфабрикаты и компоненты превращаются в готовую продукцию (платы, ячейки, блоки и т. п.), соответствующую своему назначению. К основному производственному процессу относят изготовление продукции, предусмотренной заказчиком, к вспомогательному — складирование, транспортировку, ремонт, энерго- и водоснабжение и т. п. [1]. Технологический процесс — часть производственного процесса, непосредственно связанная с превращением предмета труда в готовую продукцию. Технологический процесс делится на операции, а операции — на установки, позиции, технологические переходы, ходы, приемы [1].

Рассмотрим подробнее особенности применения методики ARIS (Architecture of Integrated

Information Systems), которая содержит около ста типовых проектных шаблонов [12]. Главным преимуществом ARIS является проектная эргономичность и высокая степень визуализации моделей. В данной методике имеют значение не только УГО элементов модели и виды диаграмм, но и цветовые решения, что повышает воспринимаемость и читаемость диаграмм. ARIS можно успешно применять для формального описания как процессов производства, так и предоставления услуг. Инструментарий ARIS благодаря богатому функционалу позволяет создавать визуальное отображение практически любых аспектов деятельности предприятия и проводить их анализ (стоимостной, динамический, соответствия оргструктуры выполняемым функциям и т. п.). Круг анализируемых предприятий практически не ограничен [1, 4, 6, 7, 20].

Разработчиком данного продукта является германская фирма IDS Scheer [12]. Систему ARIS широко применяют по всему миру. Например, фирма Mercedes-Benz использует ARIS Toolset с 1995 г. для анализа и совершенствования своей деятельности в области производства легковых автомобилей. Поводом для ее приобретения послужила возрастающая конкуренция на рынке легковых автомобилей и острая необходимость в повышении конкурентоспособности предприятия. Использование данной системы позволило перейти на качественно новый уровень в организации производства.

К основным преимуществам ARIS [12] можно отнести:

- возможность рассматривать объект с разных точек зрения; разные уровни описания, обеспечивающие поддержку концепции жизненного цикла систем; дифференцированный взгляд на анализируемый объект (организацию, систему управления и т. д.);
- широту методов моделирования, отражающих различные аспекты исследуемой предметной области, которая позволяет моделиро-

вать широкий спектр систем (организационно-хозяйственных, технологических и прочих);

- единый репозиторий, что обеспечивает создание и хранение моделей и объектов в единой базе проекта, обеспечивая построение интегрированной и целостной модели предметной области;
- возможность многократного применения результатов моделирования.

При построении моделей ARIS предполагается использовать конкретный инструментарий и соблюдать определенные правила. К ним относятся:

- корректность модели;
- релевантность (следует моделировать только те фрагменты реальной системы, которые соответствуют назначению системы, т. е. модель не должна содержать избыточной информации);
- соизмеримость затрат и выгод;
- прозрачность, т. е. понятность и удобство использования модели;
- сравнимость моделей;
- иерархичность;
- систематизация структуры, что предполагает в качестве обязательного условия возможность интеграции моделей различных типов.

ARIS включает около 100 различных моделей, используемых для формального представления, анализа и улучшения аспектов деятельности предприятия по интегральным и дифференциальным критериям [12–15]. Методику ARIS рекламирует фирма Software AG, которая приобрела компанию-основоположника ARIS (Августа-Вильгельма Шеера) IDS Scheer [12]. Нотация ARIS eEPC (extended Event Driven Process Chain) представляет собой расширенную нотацию описания цепочки процесса, управляемого событиями. В ARIS модель предприятия рассматривается с пяти точек зрения: организационной (декомпозиционной — иерархическая декомпозиция оргструктуры), функциональной, обрабатываемых данных (информационной), структуры бизнес-процессов (процессной), продуктов и услуг (объектной) [12]. Каждая из них включает три подуровня: требования, спецификации, внедрение. Инструментарий ARIS включает библиотеку базовых моделей, которые описывают типовые процессы.

Общий принцип в инструментарии — возможность интеграции моделей разных типов в рамках одного репозитория посредством декомпозиции (детализации) объектов [12]. Подробно взаимосвязь моделей и инструментарий ARIS рассмотрены в [12]. В данной работе основное внимание уделено практическим аспектам применения отдельных диаграмм ARIS при анализе распределенного радиотехнического производства.

Диаграмма цепочки добавленного качества на примере управления производством электронного устройства

Диаграмма цепочек добавленного качества описывает функции организации, которые непосредственно влияют на реальный выход ее продукции. Эти функции создают последовательность действий, формируя добавленные значения: стоимость, количество, качество и т. д. Для детального описания деятельности предприятия строят иерархию моделей производственного процесса предприятия. Модель строится иерархически — от верхнего уровня функции к нижнему. Для представления процессов верхнего уровня используется диаграмма Value-added chain Diagram, название которой можно перевести как "модель цепочки добавленного качества (стоимости)". В самом общем случае цепочка добавленного качества (стоимости) — это полная цепочка операций участников рынка, формирующих ценностное предложение конечному потребителю. Обычно выделяют и рассматривают цепочки создания ценности внутри самого производства. В таком случае они представляют собой последовательность функциональных систем, входящих в жизненный цикл образования продукции и направленных на удовлетворение определенных потребностей потребителя. Элементами цепочки создания ценности могут быть функциональные системы или подсистемы.

Диаграмма цепочки добавленного качества на примере управления производством электронного устройства представлена на рис. 1.



Рис. 1. Диаграмма добавленного качества на примере управления производством электронного устройства

Как показано на рис. 1, управляющим процессом является управление производством электронного модуля, а операционными — поставка ЭРЭ и других компонентов, приходование и хранение ЭРЭ и других компонентов на складе, технологический процесс сборки электронного устройства, укомплектование и отгрузка заказов, учет возврата и описание товара.

Такая модель описывает иерархию деятельности компании и последовательность деятельности на каждом иерархическом уровне. Представление деятельности компании в данной нотации подчиняется следующим правилам:

- функции могут размещаться в соответствии с последовательностью этапов создания продукции;
- происходит добавление качества и стоимости на каждом последующем этапе работы;
- между функциями могут устанавливаться иерархические связи или отношения, т. е. можно описывать иерархию (вложенность) функций и этапов сквозного процесса;
- функции могут быть разделены на подфункции [20—22].

Разработка диаграммы EPC (EVENT-DRIVEN PROCESS CHAIN) на примере производства электронного устройства

Процессно-событийная диаграмма поставки ЭРЭ и других компонентов. Процессно-событийная модель EPC предназначена для описания процессов, выполняемых в рамках одного подразделения, несколькими подразделениями или конкретными сотрудниками. Процедурная последовательность функций в рамках бизнес-процессов отображается в виде цепочки процесса, где для каждой функции могут быть определены начальное и конечное события. Событие — это состояние, которое является существенным для управления бизнесом и которое оказывает влияние или контролирует дальнейшее развитие одного или более бизнес-процессов [2].

События активизируют функции, т. е. передают управление от одной функции к другой. Они могут быть также результатом выполнения функций. В отличие от функций, которые имеют некоторую продолжительность, события происходят мгновенно [12].

Описание события должно содержать не только информационный объект, но и описание изменения состояния. События переключают функции и могут быть результатом выполнения функций. Упорядочивание комбинации событий и функций в последовательность позволяет создать событийные цепочки процессов. С помощью этих диаграмм процедуры бизнес-процесса представляют как логические последовательности событий/функций [12].

Одно событие может инициировать выполнение одновременно нескольких функций, и

наоборот, функция может быть результатом наступления нескольких событий [12]. Процессно-событийная модель основных процессов на примере производства электронного устройства представлена на рис. 2, 3.

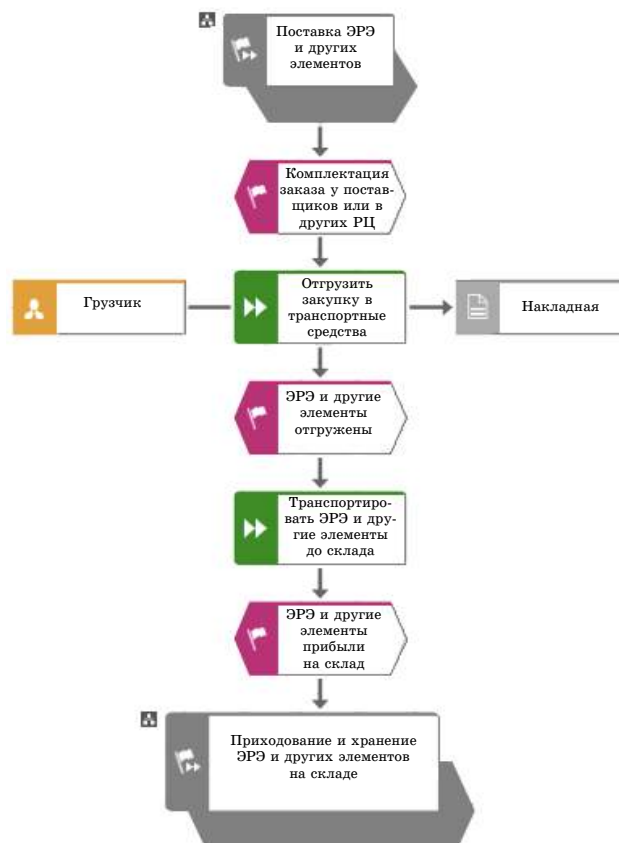


Рис. 2. Процессно-событийная диаграмма поставки ЭРЭ и других компонентов

Процессно-событийная модель, содержащая расширенное представление описания производственных процессов (наиболее полная информация о конкретных входных и выходных документах, или более подробные названия выполняемых функций и т. д.), относится к типу eEPC [12].

События активизируют функции, т. е. передают управление от одной функции к другой. Они могут быть также результатом выполнения функций. В отличие от функций, которые имеют некоторую продолжительность, события происходят мгновенно.

Описание события должно содержать не только информационный объект (заказ), но и описание изменения состояния (получен). События переключают функции и могут быть результатом выполнения функций. Упорядочивание комбинации событий и функций в последовательность позволяет создать событийные цепочки процессов. С помощью этих диаграмм процедуры бизнес-процесса представляют как логические последовательности событий/функций.

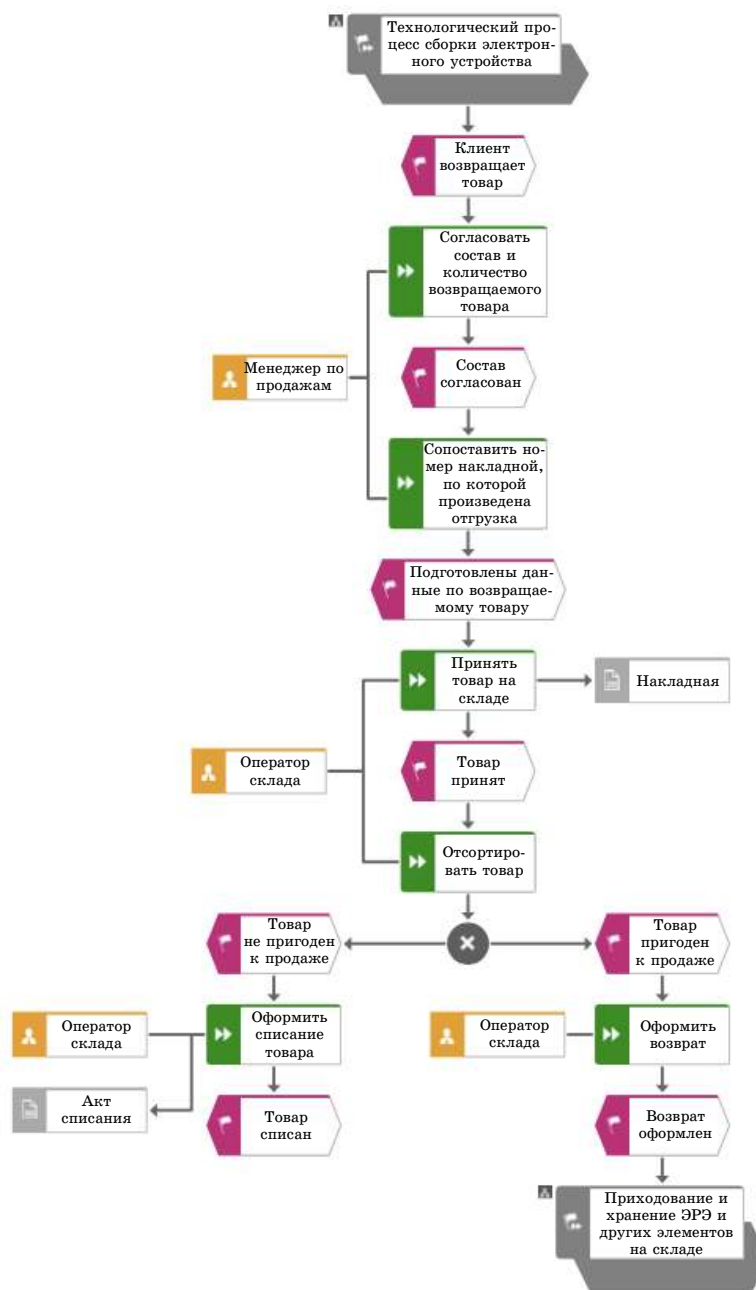


Рис. 3. Процессно-событийная диаграмма учета возврата и списания товара

Процессные модели реализуют перечень основных и вспомогательных процессов предприятия с их подробным описанием (цели, участники, взаимосвязи и т. д.), а также со следующими компонентами:

- инициирующие события, включая логические условия их выполнения;
- выполняемые функции с указанием участников информационных проектов;
- событийные связи между бизнес-процессами и иерархии бизнес-процессов;
- входные и выходные данные.

Модель предназначена для описания алгоритма выполнения процесса последовательности функций, управляемых событиями. При этом каждая функция должна инициироваться и за-

вершаться событием (или несколькими), иметь лицо, ответственное за ее выполнение, входную и выходную информацию. Одно событие может инициировать выполнение одновременно нескольких функций, и наоборот, функция может быть результатом наступления нескольких событий и функций. Для такого ветвления процесса используют логические операторы ("и", "или", "исключающие или"). В модели ЕРС их называют точками принятия решений [12].

Можно констатировать, что модель ЕРС обладает определенными преимуществами, позволяя:

- детально описать типовой производственный процесс;
- детально описать ресурсы, используемые в каждой конкретной функции;

- использовать логические операторы для описания возможных сценариев выполнения процесса.

Среди недостатков EPC-модели следует отметить:

- большое число графических элементов, используемых для построения моделей, что усложняет "читаемость" модели без предварительной подготовки;
- слишком большое внимание уделяется событиям;
- требуется дополнительная конвертация данных в другие нотации при разработке информационных систем, автоматизирующих бизнес-процессы.

Методика ARIS используется не только при формализации производственных процессов сложных социально-производственных систем, но также и при организации образовательного процесса. Ее эффективные и разноплановые инструменты позволяют в наглядной форме передавать междисциплинарные знания и активно внедрять проектные методы обучения. Визуальный, легко интерпретируемый характер диаграмм позволяет эффективно использовать данные инструменты при обучении иностранных студентов [20—22].

Заключение

Рассмотрены особенности и практические примеры реализации EPC-диаграмм на примере производства электронного устройства. Показано, какими инструментами визуального моделирования можно формализовать как производственный процесс в целом, так и отдельные компоненты технологических процессов предприятия. Даны оценки преимуществ и показаны недостатки методики визуального моделирования ARIS. Исследуемое предприятие может быть представлено в виде иерархической декомпозиции (от обобщения до уровня процедур и ресурсного окружения). В общем случае модель ARIS — это совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих процессов, описывающих деятельность предприятия как сложной социально-производственной системы. ARIS подходит для крупных и (или) длительных проектов на предприятиях с достаточным оборотом ресурсов. Это обусловлено стоимостью внедрения (например, разработка одного соглашения по моделированию может занять 1—3 месяца) и трудозатратами по сопровождению и поддержке. Для ведения небольших по масштабам (малые, средние предприятия с количеством от 2 до 5 человек в группе консультантов) и длительности (2—3 месяца) проектов рационально использовать более легкие методики.

Отдельные результаты получены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ по проекту № 0705-2020-0041 "Фундаментальные исследования методов цифровой трансформации компонентной базы микро- и наносистем".

Литература

1. Гриднев В. Н., Гриднева Г. Н. Проектирование коммутационных структур электронных средств // Конструирование и технология электронных средств. 2014. Т. 2. — 344 с.
2. Морозова В. И., Врублевский К. Э. Моделирование бизнес-процессов с использованием методологии ARIS: учеб.-метод. пособие. — М.: РУТ (МИИТ), 2017.
3. Р 50.1.028-2001 Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования.
4. Маклаков С. В. Создание информационных систем с AllFusion Modeling Suite. — М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. — 432 с.
5. Vlasov A. I., Juravleva L. V., Shakhnov V. A. Knowledge-Based Model for Formal Representation of Complex System Visual Models // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2021. 1251 AISC. P. 618—632.
6. Власов А. И., Иванов А. М. Визуальные модели управления качеством на предприятиях электроники // Наука и образование: науч. изд-е МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2011. № 11. С. 34.
7. Демин А. А., Кондратюк А. В. Анализ методик проектирования моделей производственных систем // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2018. № 1(169). С. 3—9.
8. Власов А. И., Журавлева Л. В., Казаков В. В. Применение визуальных инструментов BPMN для моделирования технологической подготовки производства // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2020. № 1(177). С. 14—26.
9. Власов А. И., Гоношилов Д. С. Системный анализ производства с использованием визуальных инструментов BPMN // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2019. № 3. С. 10—16.
10. Кочешков А. Э., Карпунин А. А. Технология ARCHIMATE — новый стандарт моделирования архитектуры предприятия // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2017. № 4. С. 3—9.
11. Гусев М. Р., Чехлянь А. Ю., Шумкин Н. С. Моделирование производственных процессов с помощью метода ARCHIMATE // Технологии инженерных и информационных систем. 2019. № 4. С. 20—28.
12. Шеер А.-В. Бизнес-процессы. Основные понятия. Теория. Методы / пер. с англ. — М.: Весть-МетаТехнология, 2001.
13. Власов А. И. Системный анализ производства с использованием визуальных инструментов методологии ARIS: тр. междунар. симпозиума "Надежность и качество". 2018. Т. 1. С. 21—32.
14. Власов А. И. Концепция визуального анализа сложных систем в условиях синхронных технологий проектирования // Датчики и системы. 2016. № 8, 9(206). С. 19—25.
15. Сапожкова Т. Е. Сравнительный анализ подходов к моделированию бизнес-процессов // Прикладная информатика. 2012. № 1. С. 14—19.
16. Vlasov A. I., Demin A. A. Visual methods of formalization of knowledge in the conditions of the synchronous technologies of system engineering: ACM International Conference Proceeding Series. 13. Сер. "CEE-SECR 2017 — Proceedings of the 13th Central and Eastern European Software Engineering Conference in Russia" 2017. P. 3166098.

17. Федоров И. Сравнительный анализ нотаций моделирования бизнес-процессов // Открытые системы. СУБД. 2011. № 08.

18. Репин В. Бизнес-процессы. Моделирование, внедрение, управление. — М.: Издательство: Манн, Иванов и Фербер, 2014. — 512 с.

19. Толченов А. В. Сравнительный анализ методологий и инструментальных средств совершенствования бизнес-процессов // Вестник Саратовского гос. социально-эконом. ун-та. 2009. С. 210—213.

20. Власов А. И., Курбабин О. Е., Шепель А. С. Методология визуального проектирования как инструмент органи-

зации поддержки учебного процесса // Новые информационные технологии и менеджмент качества (NIT& MQ'2008). 2008. С. 110—111.

21. Yudin A., Vlasov A., Shalashova M., Salmina M. Evolution of educational robotics in supplementary education of children // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. V. 1023. P. 336—343.

22. Juravleva L. V., Shakhnov V. A., Vlasov A. I. Adaptation of professional engineering training to the challenges of modern digital production // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. V. 1134 AISC. P. 623—633.

ARIS VISUAL PROCESS MODELING APPLICATION FEATURES

A. I. Vlasov, N. B. Smagulov

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

The article discusses the method of system analysis of production process of electronic device assembly using ARIS (Architecture of Integrated Information Systems) visual technique. Approaches to formalization of typical functions of the investigated system are shown, for each function initial and final events, responsible performers, material and documentary flows accompanying. The ARIS methodology instrumentation was analyzed, which allows you to create a description of a complex system not only convenient, but also much more accurate and understandable to all project participants. Shows how this technique can be used to formally represent a business process as a sequence of event-driven functions. The conclusion provides recommendations on the application of the ARIS methodology in the analysis of the production processes of the electronic industry.

Keywords: life cycle, objects, object models, logical models, business processes, information system, modeling tools, ARIS, EPC, IDS.

Власов Андрей Игоревич, доцент, заместитель заведующего кафедрой по научной работе.

E-mail: vlasovai@bmstu.ru

Смагулов Нурзат Болатжанович, магистрант.

E-mail: s.nurzat.1997@gmail.com

Статья поступила в редакцию 30 октября 2020 г.

РЕАЛИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЕТОВ В СРЕДЕ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А. О. Бутко, канд. техн. наук

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
Москва, Россия

Предлагается способ реализации технических расчетов в инвариантной среде параметрического моделирования с применением программных средств, позволяющих построить в рамках задач проектирования систему анализа изделий на базе укрупненных моделей, создаваемых в виде электронных конструкторско-технологических решений. В основу схемы положена упрощенная модель объекта, разрабатываемая в лингвистической среде моделирования. Решение может быть использовано в любой задаче, которая требует моделирования с проведением больших объемов инженерных расчетов.

Ключевые слова: анализ, автоматизация, программирование, итерационные процессы, инженерные расчеты, преобразование данных, моделирование, структурное моделирование, параметрическое моделирование.

Приведён пример анализа укрупненной модели системы заправки компонентами ракетного топлива, созданной с помощью программно-методического комплекса структурно-параметрического моделирования (ПМК СПМ) по реальным чертежам и схемам. Исследована зависимость функциональных характеристик объекта от геометрических параметров емкостей для хранения окислителя. Гидравлический расчет для их вычисления описан по существующей методике и реализован непосредственно в СПМ с использованием средств системы параметризации ПМК [1]. Комплекс программного обеспечения (ПО) для оценки конструкторско-технологических решений (КТР) включает ПМК СПМ и модуль управления анализом ACSMM. Работа иллюстрирует вариант объединения модели изделия и инженерных расчетов в единой базе и применение такой конфигурации для построения системы анализа КТР на основе одной системы автоматизированного проектирования (САПР).

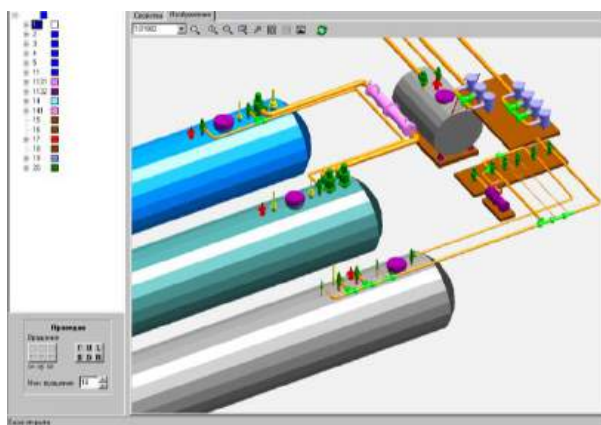
Структурно-параметрическая модель системы заправки окислителем (СЗО) (рис. 1, а) достаточно велика. Модель насчитывает 4075 элементов и включает 62 файла СПМ. Объем базы

данных модели 2,79 МБ (очень компактна). Параметризованная модель содержит гидравлический расчет заполнения емкостей из посторонних средств. Исходные данные приведены в [2, 3].

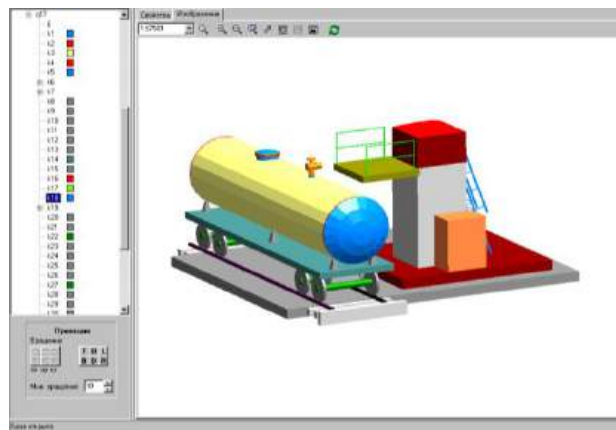
Модель приемной колонки СЗО (рис. 1, б) насчитывает 110 элементов и включает 4 файла СПМ. Объем базы 83 КБ.

В качестве варьируемого геометрического параметра взята длина обечайки (в модели — LO), а в качестве получаемых параметров — время заполнения одной, двух и трех емкостей (tB , tBB , $tBBA$), производительность заполнения емкостей А, Б и В (QA , QB , QV), повышение давления (PBB , PBA), количество агрегатов ЖАЦ-44, необходимых для полной заливки емкостей системы (n) [4]. По результатам расчета построена зависимость параметра n (количество единиц доставки компонента (агрегатов ЖАЦ-44)) от параметра LO (длина обечайки емкости), определяющего объем емкости.

Для реализации расчета создан специальный файл модели, включающий все формулы (элемент системы заправки окислителем — емкость). При моделировании реализован гидравлический расчет [2, 3] заполнения емкостей А, Б и В из посторонних средств.



а



б

Рис. 1. Модель СЗО (а) и колонки СЗО (б)

Расчет полностью интегрирован в модель, что позволяет получать значения, определяемые в данном расчете при построении модели, а также дает возможность провести расчет для системы заправки, имеющей другие геометрические характеристики емкостей А, Б и В.

Задача расчета. Определение времени заполнения одной, двух и трех емкостей. Емкости В, Б и А заполняют из железнодорожной цистерны ЖАЦ-44 методом вытеснения продукта давлением $P = 3,5 \text{ кгс/см}^2$.

Исходные данные:

- $P = 3,5 \text{ кгс/см}^2$ — давление в агрегате ЖАЦ-44;
- $V = 120 \text{ м}^3$ — геометрический объем емкости (В, Б и А);
- $V_A = 12 \text{ м}^3$ — объем газовой подушки емкости А;
- $V_B = 3,6 \text{ м}^3$ — объем газовой подушки емкости Б;
- $V_{\text{В}} = 24 \text{ м}^3$ — объем газовой подушки емкости В;
- $t = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ — средняя температура продукта;
- $\nu = 0,331 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ — кинематическая вязкость продукта при $t = 10 \text{ }^\circ\text{C}$;
- $\gamma = 1,4684 \text{ г/см}^3$ — удельный вес продукта при $t = 10 \text{ }^\circ\text{C}$.

Методика расчета. Операцию заполнения емкостей В, Б и А из агрегата ЖАЦ-44 осуществляют методом вытеснения продукта из емкости ЖАЦ-44 давлением $P = 3,5 \text{ кгс/см}^2$.

Вначале заполняют емкость В. По мере заполнения емкости В воздух из нее вытесняется через клапан Ду50 по сифону В—Б в емкость Б. Когда продукт в емкости В достигает такого уровня, при котором отверстие патрубка выхода воздуха оказывается перекрыто, в емкости В начинает повышаться давление за счет уменьшения объема газовой подушки.

Как только давление достигает величины, достаточной для преодоления сопротивления сифона В—Б, начинает заполняться емкость Б. Заполнение емкостей Б и А происходит аналогично, только воздух из емкости А стравливается в нейтрализатор.

Операция заполнения емкостей В, Б и А прекращается после срабатывания сигнализатора уровня на емкости А.

Расчет объема емкостей А, Б и В. Ввиду идентичности размеров емкостей расчет выполнен для одной емкости.

Исходные данные для начальной итерации расчета:

- $D_{\text{в}} = 3000 \text{ мм}$ — внутренний объем обечайки;
- $H = 750 \text{ мм}$ — внутренняя высота эллиптической части днища;
- $h = 60 \text{ мм}$ — длина цилиндрической части днища;
- $L = 15860 \text{ мм}$ — длина цилиндрической обечайки.

Расчет производительности заполнения емкости В.

Расчет производительности заполнения сифона В—Б и давления в емкости В.

Расчет производительности и времени заполнения емкости Б.

Расчет производительности заполнения сифона Б—А и давления в емкости Б.

Расчет производительности и времени заполнения емкости А.

Результаты расчета:

- время заполнения одной емкости В равно $t_{\text{В}} = 1 \text{ ч } 10 \text{ мин}$; время заполнения двух емкостей, В и Б, равно $t_{\text{В,Б}} = 2 \text{ ч } 40 \text{ мин}$; время заполнения трех емкостей, В, Б и А, равно $t_{\text{В,Б,А}} = 4 \text{ ч } 12 \text{ мин}$;

• производительности заполнения емкостей продуктом равны:

$$Q_{\text{В}} = 1380 \text{ л/мин};$$

$$Q_{\text{Б}} = 1290 \text{ л/мин};$$

$$Q_{\text{А}} = 1168 \text{ л/мин};$$

- минимальное необходимое давление наддува в железнодорожной емкости для обеспечения указанных производительностей заполнения трёх емкостей, В, Б и А, $P = 3,5 \text{ кгс/см}^2$;

- повышение давления в емкостях:

$$P_{\text{В—Б}} = 0,37 \text{ кгс/см}^2; P_{\text{Б—А}} = 0,51 \text{ кгс/см}^2;$$

- необходимое количество агрегатов ЖАЦ-44 для одновременного заполнения емкостей системы:

$$n = \frac{3V - (V_A + V_B + V_{\text{В}})}{V_n} = \frac{3 \cdot 120 - (12 + 3,6 + 24)}{37} \approx 9 \text{ шт.},$$

где $V_n = 37 \text{ м}^3$ — полезный объем ЖАЦ-44.

Реализация расчета в СПМ:

+ПАРАМЕТРЫ

$DK(+\text{ДИАМЕТР КОРПУСА})=3000;$

$LC(+\text{ДЛИНА ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ})=60;$

$LO(+\text{ДЛИНА ОБЕЧАЙКИ})=15860;$

$NK(+\text{ВЫСОТА КРЫШКИ})=750;$

$P(+\text{ДАВЛЕНИЕ В ЦИСТЕРНЕ}$

$\text{ЖАЦ-44})=3.5;$

$VA(+\text{ОБЪЕМ ГАЗОВОЙ ПОДУШКИ В ЕМКОСТИ А})=12;$

$VB(+\text{ОБЪЕМ ГАЗОВОЙ ПОДУШКИ В ЕМКОСТИ Б})=3.6;$

$VV(+\text{ОБЪЕМ ГАЗОВОЙ ПОДУШКИ В ЕМКОСТИ В})=24;$

$tn(+\text{СРЕДНЯЯ ТЕМПЕРАТУРА ПРОДУКТА})=10;$

$KV(+\text{КИНЕМАТИЧЕСКАЯ ВЯЗКОСТЬ ПРОДУКТА})=0.000000331;$

$UV(+\text{УДЕЛЬНЫЙ ВЕС ПРОДУКТА})=1.4684;$

$hn(+\text{ГИДРОСТАТИЧЕСКАЯ ВЫСОТА НАГНЕТЕНИЯ})=7.6;$

$dDy100(+ \text{ДИАМЕТР ТРУБОПРОВОДА } Dy100) = 0.098;$
 $EA(+ \text{КОЭФФИЦИЕНТ СОПРОТИВЛЕНИЯ СИФОНА Б-А}) = 17;$
 $EB(+ \text{КОЭФФИЦИЕНТ СОПРОТИВЛЕНИЯ СИФОНА В-Б}) = 9.5;$
 $EV(+ \text{КОЭФФИЦИЕНТ СОПРОТИВЛЕНИЯ МАГИСТРАЛИ ЗАПОЛНЕНИЯ ЕМКОСТИ В}) = 66;$
 $HBB(+ \text{РАЗНОСТЬ УРОВНЕЙ ЖИДКОСТИ В ЕМКОСТЯХ В И Б}) = 2.312;$
 $HBA(+ \text{РАЗНОСТЬ УРОВНЕЙ ЖИДКОСТИ В ЕМКОСТЯХ Б И А}) = 2.872;$
 $EBA(+ \text{КОЭФФИЦИЕНТ СОПРОТИВЛЕНИЯ СИФОНА Б-А ДО КРИТ. УЧАСТКА}) = 11.53;$
 $EBB(+ \text{КОЭФФИЦИЕНТ СОПРОТИВЛЕНИЯ СИФОНА В-Б ДО КРИТ. УЧАСТКА}) = 4.5;$
 $Vn(+ \text{ПОЛЕЗНЫЙ ОБЪЕМ ЖАЦ-44}) = 37;$
 $hBA(+) = 1.45;$
 $hBB(+) = 1.34;$
 $Vоб = ; Vц = ; Vэл = ; Vдн = ;$
 $n1 = ; H = ; Fnp = ;$
 $ModA = ; ModБ = ; ModB = ;$
 $tA = ; tБ = ;$
 $V(+ \text{ОБЪЕМ ЕМКОСТИ}) = ;$
 $QA(+ \text{ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ}) = ;$
 $QB(+ \text{ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ}) = ;$
 $QВ(+ \text{ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ}) = ;$
 $tB(+ \text{ВРЕМЯ ЗАПОЛНЕНИЯ}) = ;$
 $tBB(+ \text{ВРЕМЯ ЗАПОЛНЕНИЯ}) = ;$
 $tBBA(+ \text{ВРЕМЯ ЗАПОЛНЕНИЯ}) = ;$
 $PBB(+ \text{ПОВЫШ ДАВЛЕНИЯ}) = ;$
 $PBA(+ \text{ПОВЫШ ДАВЛЕНИЯ}) = ;$
 $n(+ \text{КОЛ-ВО ЖД ЦИСТЕРН}) = ;$
 $QBB = ; QBA = ;$
 $KPBB = ; KPBA = ;$
 $h\alpha 1 = ; h\alpha 2 = ;$
 $VB2 = ; VB2 = ;$
 $DVB = ; DVB = ;$

ФОРМУЛЫ

! Расчет объема емкости

$Vоб = 3.1416 * DK * DK * LO / 4;$

$Vэл = 4 * 3.1416 * DK * DK * HK / 12;$

$Vц = 3.1416 * DK * DK * LC / 2; Vдн = Vэл + Vц;$

! Объем емкости (куб. м)

$V = (Vоб + Vдн) / 1000000000;$

! Расчет времени заполнения емкости В

$H = 10 * P / UB;$

$Fnp = 0.7854 * dDy100 * dDy100;$

$ModB = EB / (2 * 9.81 * Fnp * Fnp);$

! Производительность заполнения емкости В

$QB = SQRT((H + hn) / ModB) * 60000;$

! Время заполнения емкости В (мин)

$tB = (V - VB) * 1000 / QB;$

! Определение производительности заполнения

сифона В-Б и давления в емкости В

$KPBB = SQRT(1 / (1 + EB));$

$QBB = KPBB * Fnp * SQRT(2 * 9.81 * HBB);$

$h\alpha 2 = hBB + (1 + EBB) * ((QBB * QBB) /$

$(2 * 9.81 * Fnp * Fnp));$

$VB2 = VB / (1 + PBB); DVB = VB - VB2;$

! Повышение давления в емкости В

$PBB = UB * h\alpha 2 / 10;$

! Расчет времени заполнения емкости В

$H = 10 * P / UB;$

$Fnp = 0.7854 * dDy100 * dDy100;$

$ModB = (EB + EB) / (2 * 9.81 * Fnp * Fnp);$

! Производительность заполнения емкости В

$QB = SQRT((H + hn) / ModB) * 60000;$

! Время заполнения емкости В (мин.)

$tB = (V - VB) * 1000 / QB;$

! Определение производительности заполнения

сифона Б-А и давления в емкости Б

$KPBA = SQRT(1 / (1 + EA));$

$QBA = KPBA * Fnp * SQRT(2 * 9.81 * HBA);$

$h\alpha 1 = hBA + (1 + EBA) * ((QBA * QBA) /$

$(2 * 9.81 * Fnp * Fnp));$

$VB2 = VB / (1 + PBA); DVB = VB - VB2;$

! Повышение давления в емкости Б

$PBA = UB * h\alpha 1 / 10;$

! Расчет времени заполнения емкости А

$H = 10 * P / UV; Fnp = 0.7854 * dDy100 * dDy100;$

$ModA = (EB + EB + EA) / (2 * 9.81 * Fnp * Fnp);$

! Производительность заполнения емкости А

$QA = SQRT((H + hn) / ModA) * 60000;$

! Время заполнения емкости А (мин)

$tA = (V - VA) * 1000 / QA;$

! Расчет времени заполнения емкостей В и Б

(мин)

$tBB = tB + tБ;$

! Расчет времени заполнения емкостей В, Б

и А (мин)

$tBBA = tBB + tA;$

! Расчет количества агрегатов ЖАЦ для од-

новременного заполнения емкостей В, Б и А

(шт.)

$n1 = (3 * V - VA - VB - VB) / Vn; n = OKR(0, n1);$

Исходные данные, необходимые для расчета:

- DK [мм] — внутренний объем обечайки емкости;
- HK [мм] — внутренняя высота эллиптической части днища емкости;
- LC [мм] — длина цилиндрической части днища емкости;
- LO [мм] — длина цилиндрической обечайки емкости;
- P [кгс/см²] — давление в агрегате ЖАЦ-44;
- VA, VB, VB [м³] — объемы газовых подушек емкостей А, Б и В;
- tn [°C] — средняя температура продукта;
- KB [м²/с] — кинематическая вязкость продукта при заданном значении t ;
- UB [г/см³] — удельный вес продукта при заданном значении t ;
- hn [м] — гидростатическая высота нагнетания (расстояние между средними уровнями емкости В и емкости ЖАЦ-44);

- EA — коэффициент сопротивления сифона Б—А;
 - EB — коэффициент сопротивления сифона В—Б;
 - EV — коэффициент сопротивления магистрали заполнения емкости В;
 - HVB [м] — разность уровней жидкости в емкостях В и Б;
 - HBA [м] — разность уровней жидкости в емкостях Б и А;
 - EBA — коэффициент сопротивления сифона Б—А до критического участка;
 - EBB — коэффициент сопротивления сифона В—Б до критического участка;
 - $V_{п}$ [м³] — полезный объем цистерны ЖАЦ-44;
 - hBA [м] — уровень жидкости в сифоне Б—А;
 - hBB [м] — уровень жидкости в сифоне В—Б;
 - $dDy100$ [м] — диаметр трубопровода Ду100.
- В результате рассчитываются следующие значения:
- геометрический объем емкости V [м³];
 - время заполнения одной емкости В — tB [мин];
 - время заполнения двух емкостей, В и Б, tBB [мин];
 - время заполнения трех емкостей, В, Б и А, $tBBA$ [мин];

- производительность заполнения емкостей продуктом:

QA [л/мин]; QB [л/мин]; QV [л/мин];

- повышение давления в емкости В — PVB [кгс/см²]; Б — PBA [кгс/см²];
- необходимое количество агрегатов ЖАЦ-44 для одновременного заполнения емкостей системы n [шт].

Упрощенная модель емкости с результатами расчета приведена на рис. 2.

Модель емкости с интегрированным гидравлическим расчетом была подготовлена к обработке с помощью модуля *ACSM* в режиме автоматизации расчета с целью получить графики зависимостей величин n , tB и tBB от LO и DK , т. е. результатом расчета должна явиться матрица результатов расчета этих величин при всех возможных комбинациях заданных значений параметров LO и DK . Эти графики покажут зависимость времени заполнения емкости В, времени заполнения емкостей В и Б и количества необходимых для заполнения емкостей системы агрегатов ЖАЦ-44 от геометрических параметров емкостей — длины обечайки (LO) и диаметра (DK).

Полученные результаты сохраняются в текстовом файле, поэтому можно проконтролировать все данные, полученные при расчете.

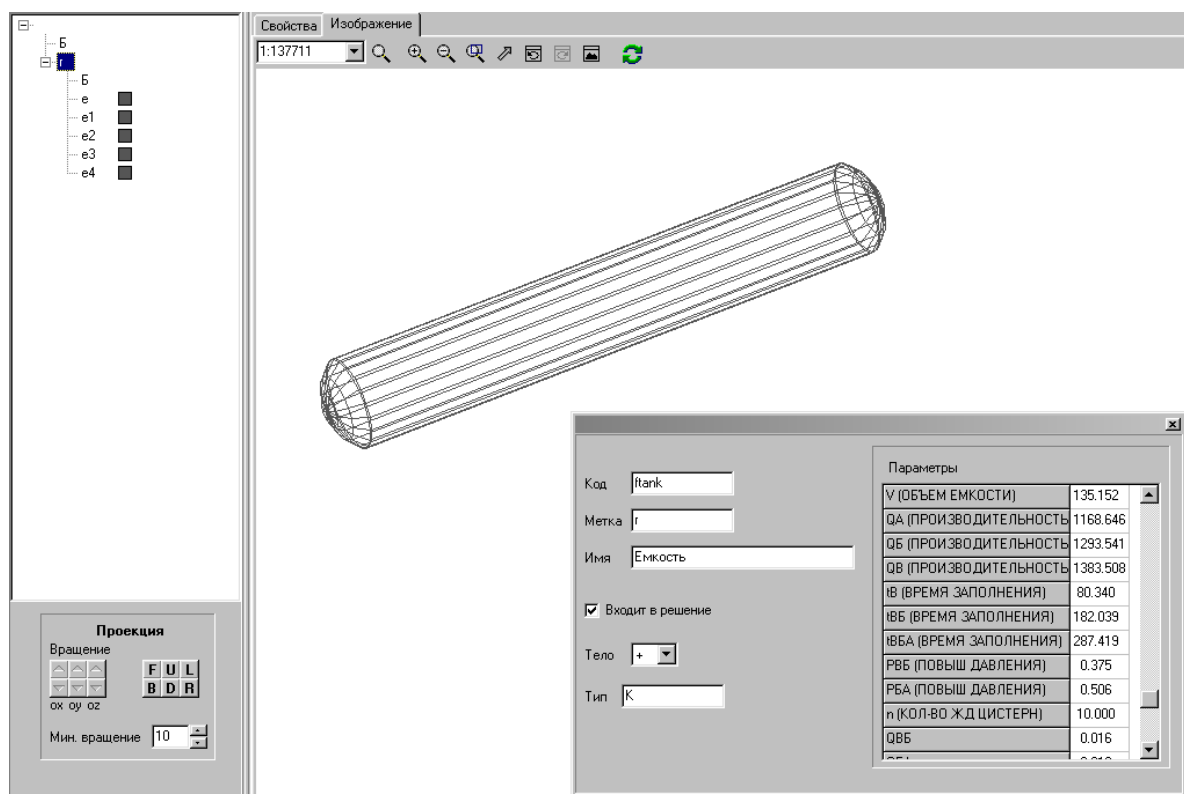


Рис. 2. Упрощенная модель емкости с результатами расчета

Программные настройки обработки модели для проведения имитации процесса показаны на рис. 3–5.

По статистике проведенный расчет из 40 итераций занял чуть больше 24 с. По результатам расчета построена зависимость величин n , tB и $tBБ$ от LO и DK . При этом в качестве фиксируемого параметра (значение которого фиксируется при переборе значений второго параметра, затем перебор повторяется для следующего значения этого параметра) выбран диаметр DK [2]. Соответствующий график представлен на рис. 6. Как и следовало ожидать, наблюдаются возрастание времени заправки емкостей и увеличение числа агрегатов ЖАЦ-44, требуемых для полной заправки емкостей.

Элемент	Метка	Индекс	Параметр	Начальное значение	Количество шагов	Шаг
<input type="checkbox"/>	г	0	LO	12860	10	Задать
<input type="checkbox"/>	г	0	DK	2000	4	Задать

Рис. 3. Варьируемые параметры модели расчета

Метка	Индекс	Параметр
г	0	V
г	0	QA
г	0	QB
г	0	QВ
г	0	tB
г	0	tBБ
г	0	tBБA
г	0	PВБ
г	0	PБA
г	0	n

Рис. 4. Контролируемые параметры модели расчета

Параметр оси X		Параметр оси Y1		Параметр оси Y2		Параметр оси Y3	
Основной / Фиксируемый	LO / DK	1BБA / PББ / PБA / n	QA / QB / QВ / tB / tBБ	QB / QВ / tB / tBБ	1BБ / tBБA / PВБ / PБA		
Максимум X:	18000	Максимум Y1:	30	Максимум Y2:	300	Максимум Y3:	600
Минимум X:	10000	Минимум Y1:	0	Минимум Y2:	0	Минимум Y3:	0
Число делений по X:	10	Число делений по Y1:	10	Число делений по Y2:	10	Число делений по Y3:	10
Диапазон X:	12860.0...17360.0	Диапазон Y1:	2.0...28.0	Диапазон Y2:	14.4...244.9	Диапазон Y3:	45.6...522.7
Точность значений по X:	1	Точность значений по Y1:	1	Точность значений по Y2:	1	Точность значений по Y3:	1
Цена деления:	800.00	Цена деления:	3.00	Цена деления:	30.00	Цена деления:	60.00
	Норм		Норм		Норм		Норм
Ширина окна:	640	Высота окна:	480	Высота шрифта:	12		
<input checked="" type="checkbox"/> Сохранить график в метафайл		Смещение названия кривой по X:		4	Y:	4	
<input checked="" type="checkbox"/> Оси Y2 и Y3 слева от Y1		Смещение осей Y2, Y3:		40			
<input type="checkbox"/> Название кривой у первой точки		Единицы измерения параметров:		X	Fixed	Y1	Y2
<input checked="" type="checkbox"/> Названия кривых в таблице				мм	мм	шт	Па
<input checked="" type="checkbox"/> Выводить положение нуля				мм	мм	шт	Па
<input checked="" type="checkbox"/> Показывать точки							
<input type="checkbox"/> Показывать сетку XY							
Название графика		n, tB, tBБ(LO, DK)				Построить	
						Отмена	

Рис. 5. Настройки построения графика

Для проверки новой функции сохранения графика в формате *Windows Metafile*, реализованной в текущей версии программы, включена опция "Сохранить график в метафайл".

Все настройки обработки расчета сохранены и могут быть использованы повторно. По результатам обработки модели и проведения автоматизации расчета можно считать, что наиболее рациональный вариант работы программы — это работа в режиме с отключением геометрической обработки. При этом значительно сокращается общее время обработки.

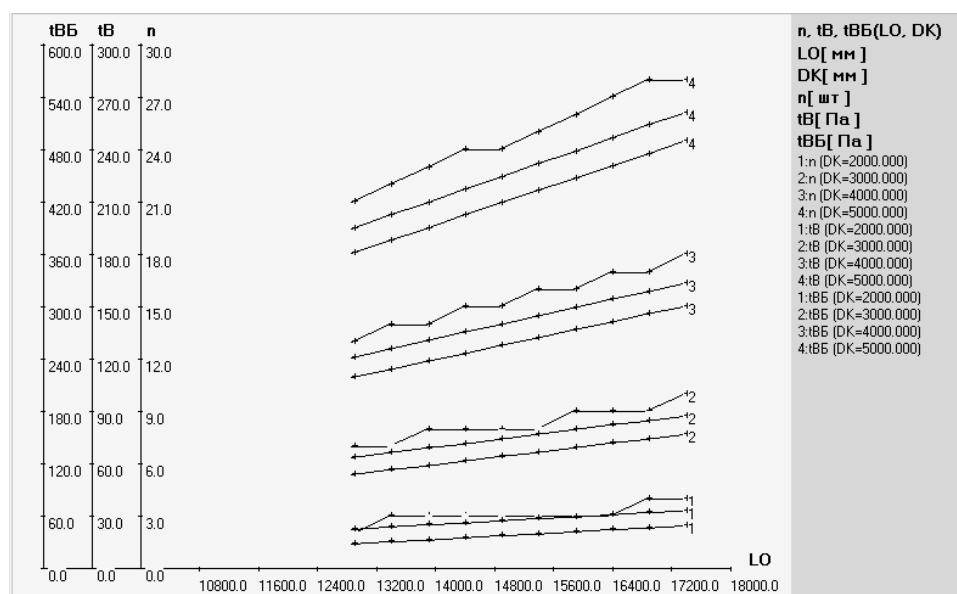


Рис. 6. Оценка влияния геометрии емкости на функциональные параметры СЗ

В принципе расчетная часть любой структурно-параметрической модели может содержаться в отдельном файле, не имеющем геометрических объектов. Тогда при проведении обработки отпадает необходимость транслировать всю модель целиком, достаточно только расчетного модуля, как это имеет место в рассмотренном примере. Модель емкости с гидравлическим расчетом входит в состав объемной модели системы заправки. При обработке этой модели целиком на трансляцию ушло бы значительное время. Однако поскольку модель емкости может использоваться независимо от модели СЗ, время, затрачиваемое на трансляцию, сокращается в несколько раз.

Заключение

В ходе отработки схемы на производстве установлено, что применение предлагаемого решения по реализации технических расчетов обеспечивает сокращение длительности и трудо-

емкости процессов проектирования и подготовки производства за счет интеграции всех расчетов в модель изделия, автоматизации процесса проведения расчета и анализа изделий в виде КТР средствами единой программной системы. По результатам эксплуатации элементов системы анализа на предприятии установлено повышение производительности труда проектировщиков в процессах подготовки производства в 1,1–1,3 раза.

Литература

1. Цыркв А. В. Методология проектирования в мультиплексной информационной среде. — М.: ВИМИ, 1998. — 281 с.
2. Канторович Б. В. Гидравлические и воздушные машины. — М.: Металлургиздат, 1950. — 550 с.
3. Рабинович Е. З. Гидравлика. — М.: Госфизматлитиздат, 1980. — 277 с.
4. Бутко А. О., Каленова Н. В. Особенности организации многоитерационных инженерных расчетов в системах комплексного моделирования // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2020. № 3. С. 3–8.

IMPLEMENTATION OF ENGINEERING CALCULATIONS IN THE ENVIRONMENT OF STRUCTURAL AND PARAMETRIC MODELING

A. O. Butko

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

The propose a method for the implementation of technical calculations in an invariant environment of parametric modeling using software tools that allow building a product analysis system within the design tasks based on enlarged models created in the form of electronic design and technological solutions. The scheme is based on a simplified model of the object, developed in the linguistic modeling environment. The solution can be used in any task that requires modeling with large volumes of engineering calculations.

Keywords: analysis, automation, programming, iterative processes, engineering calculations, data transformation, modeling, structural modeling, parametric modeling.

Бутко Антон Олегович, доцент.
E-mail: mati-tias@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 10 ноября 2020 г.

УДК 004.4.22:658.512

КЛАССИФИКАЦИЯ И ВЫЯВЛЕНИЕ ВНЕШНИХ СВЯЗЕЙ УПРАВЛЯЮЩЕЙ КОМПАНИИ ПРИ МНОГОУРОВНЕВОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Г. А. Винарская; Г. Д. Волкова, д-р техн. наук

Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», Москва, Россия

*Представлены результаты исследования и моделирования деятельности управляющей компании в энергетической отрасли. Разработанная многоуровневая модель энергетической системы позволила выявить внешние связи управляющей компании и классифицировать их с учетом ее места в иерархии энергетических систем.**Ключевые слова:* модель деятельности организации, управляющая компания, энергетическая система, внешние связи организации.

Для определения особенностей работы региональной управляющей компании, выделения всех функций, обеспечивающих эффективное управление энергетической системой соответствующего уровня, необходимо выявить все ее связи в процессах за все периоды управления: от смены (оперативное управление) до года (долгосрочное управление).

Многоуровневая модель энергетической системы, предложенная в работах [1—4], позволяет как фиксировать управленческие и функциональные связи на каждом уровне организационной сложности энергетического комплекса, так и увязывать энергетические системы в единое целое.

Для выявления многообразия связей региональной управляющей компании или регионального диспетчерского управления (РДУ) необходимо уточнить представленное в работе [4] формальное описание связей между объектом управления и органом управления в энергетической системе на каждом уровне организационной сложности в виде обобщенных матриц: укрупненной и детальной, а также уточнить инфраструктурные ограничения (связи) между энергетическими системами на каждом уровне.

Для нулевого уровня организационной сложности (государственный уровень) укрупненная матрица описывает управленческие связи между органом управления (Центральным диспетчерским управлением — ЦДУ) и объектом

управления — сетью окружающих энергетических систем.

При этом связь R_{UF}^0 определяет интегральное (согласованное) управленческое воздействие центрального диспетчерского управления на всю энергетическую систему страны, а связь R_{FU}^0 отражает сводную информацию о реальном состоянии энергетической системы, поступающую в ЦДУ. Диагональные элементы отражают внутренние связи каждой составляющей системы, т. е. формирование или обработку соответствующей информации внутри каждой составляющей.

С учетом раскрытия государственной энергосистемы как сети окружающих энергетических систем (ОЭС) детальная матрица связей отражает:

- внутренние связи составляющих (диагональные элементы);
- связи от ЦДУ ко всем окружающим энергетическим системам, т. е. доведение плановых и других показателей до каждой ОЭС (первая строка матрицы);
- информацию о реальном состоянии каждой ОЭС для органа управления данного уровня по всем контролируемым показателям (первый столбец матрицы).

Поскольку окружающих систем всего семь, фрагмент детальной матрицы для ОЭС Центр имеет вид табл. 1.

Таблица 1

Фрагмент детальной матрицы для ОЭС Центр

R^0	ЦДУ	ОЭС Центр
ЦДУ	[Внутренние связи Центрального диспетчерского управления]	Передача утвержденных планов-графиков рынков электроэнергии (ПБР, ППБР, ПГБР) для ОЭС Центра. Передача плана проведения проверок на соответствие компетенций сотрудников занимаемым должностям (матрица компетенций) для ОЭС Центра
ОЭС Центр	Передача сводок различных видов (статистических, фактических, оперативных) данных по всем региональным энергетическим системам (РЭС), входящим в состав ОЭС Центра. Передача макетов информации по выработке-потреблению электроэнергии в зоне ответственности ОЭС Центра. Передача информации о факте возникновения аварий на объектах ОЭС Центра	[Внутренние связи окружающей энергетической системы Центр]

Сеть ОЭС связана тремя типами инфраструктурных связей: пространственными, производственными (транспортными — линии электропередач) и информационно-технологическими, обеспечивающими функционирование этой сети.

Матрица пространственных связей будет симметричной относительно главной диагонали ($R_{FF}^{0-k:a}(t_1)$ — пространственная связь (t_1) между k -й и a -й системами на нулевом уровне).

Для энергетической системы страны с учетом конечного числа ОЭС матрица пространственных связей имеет вид табл. 2, где введены следующие сокращения для названий ОЭС: Ц — Центр; В — Волга; С — Север; У — Урал; СВ — Сибирь Восток; Ю — Юг; СЗ — Северо-Запад, наличие связей зафиксировано — "Есть".

Аналогично можно определить матрицы производственных и информационно-технологических связей для системы данного уровня.

При этом в матрице производственных связей $R_{FF}^{0-k:a}(t_2)$ — связь (t_2), или "энергетический транспортный коридор" между k -й и a -й системами, а $R_{FF}^{0-a:k}(t_2)$ — производственная

связь, или транспортный коридор между a -й и k -й системами с учетом того, что "коридор" может иметь одностороннюю направленность.

Диагональные элементы такой матрицы отражают внутренние производственные связи каждой окружной системы.

Матрица производственных связей для ОЭС Центр будет аналогична матрице, представленной в табл. 3.

Информационно-технологические связи обеспечивают передачу информации о состоянии сегментов энергетических систем при наличии соответствующих каналов и технологического оборудования связи.

Диагональные элементы соответствующей матрицы отражают наличие внутренних информационно-технологических связей в окружных системах, а $R_{FF}^{0-k:a}(t_3)$ определяет передачу информации о состоянии k -й окружной системы к a -й окружной системе.

Для ОЭС Центр матрица информационно-технологических связей имеет вид, представленный в табл. 4 (с учетом пространственных границ).

Таблица 2

Матрица пространственных связей энергетической системы страны (для фиксации наличия общих границ)

$R_F^0(t_1)$	ОЭС Ц	ОЭС В	ОЭС С	ОЭС У	ОЭС СВ	ОЭС Ю	ОЭС СЗ
ОЭС Ц	Вн. связи						
ОЭС В	—	Вн. связи					
ОЭС С	—	Есть	Вн. связи				
ОЭС У	Есть	—	Есть	Вн. связи			
ОЭС СВ	Есть	—	—	Есть	Вн. связи		
ОЭС Ю	Есть	—	—	—	Есть	Вн. связи	
ОЭС СЗ	Есть	—	—	Есть	—	—	Вн. связи

Таблица 3

Матрица производственных связей энергетической системы страны

$R_F^0(t_2)$	ОЭС Ц	ОЭС В	ОЭС С	ОЭС У	ОЭС СВ	ОЭС Ю	ОЭС СЗ
ОЭС Ц	Вн. связи	—	—	Есть	Есть	Есть	Есть
ОЭС В	—	Вн. связи	Есть	—	—	—	—
ОЭС С	—	Есть	Вн. связи	Есть	—	—	—
ОЭС У	Есть	—	Есть	Вн. связи	Есть	—	Есть
ОЭС СВ	Есть	—	—	Есть	Вн. связи	Есть	—
ОЭС Ю	Есть	—	—	—	Есть	Вн. связи	—
ОЭС СЗ	Есть	—	—	Есть	—	—	Вн. связи

Таблица 4

Фрагмент матрицы информационно-технологических связей окружной энергетической системы Центр

$R_F^0(t_3)$	ОЭС Ц	ОЭС У	ОЭС СВ	ОЭС Ю	ОЭС СЗ
ОЭС Ц	Вн. связи	+	+	+	+
ОЭС У	+	Вн. связи	—	—	—
ОЭС СВ	+	—	Вн. связи	—	—
ОЭС Ю	+	—	—	Вн. связи	—
ОЭС СЗ	+	—	—	—	Вн. связи

При этом связь фиксируется наличием (+) телефонной связи оперативного планирования (ТСОП), технологической связи и пакета телеметрической информации.

Таким образом, для государственной энергосистемы в целом определены управленческие и функциональные связи, что позволяет их детализировать на следующем уровне организационной сложности.

Для следующего (1)-го уровня организационной сложности сформируем набор матриц с учетом выделения определенной окружной энергетической системы, а именно ОЭС Центр. Окружная энергетическая система, в свою очередь, представляет собой сеть региональных энергетических систем (РЭС), управляемую окружным диспетчерским управлением (ОДУ).

Каждая окружная система организует и контролирует функционирование в среднем от 4 до 18 РЭС.

Для каждой РЭС диспетчерское управление будет формировать однотипный набор управленческих воздействий и рекомендаций, а также получать от них комплект документов и данных, характеризующих фактическое состояние энергосистемы региона.

Поэтому для выделенной ОЭС Центр приведем описание управленческих взаимосвязей только с РЭС Москвы и Московской области (РЭС МО) (табл. 5), так как остальные будут аналогичны.

Особо следует отметить позицию в управленческих воздействиях, связанную с организацией

проверок на соответствие компетенций сотрудников.

Эта позиция обусловлена высокими требованиями к квалификации персонала в энергетической отрасли и необходимостью практически постоянного контроля и тренинга специалистов и руководителей разного уровня.

Матрица пространственных связей на данном уровне и для выделенной ОЭС Центр также будет симметричной относительно главной диагонали ($R_{FF}^{1a-m:l}(t_1)$ — пространственная связь между m -й и l -й региональными системами). Ее вид демонстрирует табл. 6 (все входящие в округ регионы пронумерованы для удобства записи; наличие связей отмечено знаком "+"; знаком "x" отмечены внутренние связи РЭС).

Аналогично можно представить матрицы производственных и информационно-технологических связей для системы данного уровня.

При этом в первой матрице $R_{FF}^{1a-m:l}(t_2)$ — производственная связь, или "энергетический транспортный коридор" между m -й и l -й системами, а диагональные элементы матрицы отражают внутренние производственные связи региональной системы.

Производственные связи в рамках ОЭС Центр приведены в табл. 7 с учетом наличия пространственных границ между регионами окружной системы и их нумерацией.

Таблица 5

Фрагмент детальной матрицы связей для ОЭС Центр и РЭС МО

R^{1a}	ОДУ Центр	РЭС МО
ОДУ Центр	[Внутренние связи Окружного диспетчерского управления Центр]	Передача запроса на сбор и анализ сводов данных от ОЭС Центра. Рассылка утвержденных планов-графиков рынков электроэнергии для РЭС МО. Передача плана проведения проверок на соответствие компетенций сотрудников занимаемым должностям (матрица компетенций). Выдача диспетчерских команд. Передача разрешений диспетчерских заявок
РЭС МО	Передача макетов информации по выработке/потреблению электроэнергии в зоне ответственности РЭС МО. Передача информации о факте возникновения аварий на объектах РЭС МО. Передача информации об исполнении диспетчерских команд. Передача информации о контроле исполнения регламентов функционирования подразделений и подсистем. Передача запросов на проведение работ по заявкам. Синхронизация данных между диспетчерскими управлениями. Передача отчета по нарушениям на диспетчерских управлениях. Передача отчета об авариях. Передача аналитических отчетов по авариям, нарушениям. Передача информации о контроле работ по заявкам	[Внутренние связи Региональной энергетической системы МО]

Таблица 6

Матрица пространственных связей энергетической системы Центр (для фиксации наличия границ)

$R_F^{1a}(t_1)$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
РЭС МО(1)	x	+	-	-	-	+	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
РЭС ВЛ(2)	+	x	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-
РЭС ВО(3)	-	-	x	-	+	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-
РЭС ВР(4)	-	-	-	x	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-
РЭС КО(5)	-	-	+	-	x	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-
РЭС КА(6)	+	-	-	-	-	x	-	-	-	+	-	+	-	+	-	-	-	+
РЭС КУ(7)	-	-	-	+	-	-	x	+	-	-	-	-	-	+	+	-	-	+
РЭС ЛИ(8)	-	-	-	+	-	-	+	x	+	-	-	+	-	-	-	+	-	+
РЭС РЯ(9)	+	+	-	-	-	-	-	+	x	-	-	+	-	-	-	+	-	-
РЭС СМ(10)	+	-	-	-	-	+	-	-	-	x	+	-	-	+	-	-	-	-
РЭС ТВ(11)	+	-	+	-	-	-	-	-	-	+	x	-	+	-	-	-	-	-
РЭС ТУ(12)	+	-	-	-	-	+	-	+	+	-	-	x	-	-	-	-	-	+
РЭС ЯР(13)	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-	+	-	x	-	-	-	+	-
РЭС БР(14)	-	-	-	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-	x	-	-	-	+
РЭС БЕ(15)	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-
РЭС ТА(16)	-	-	-	+	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	x	-	-
РЭС ИВ(17)	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	x	-
РЭС ОР(18)	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	-	+	-	-	-	x

Таблица 7

Фрагмент матрицы производственных связей для 1-го уровня и выделенной ОЭС Центр

$R_F^{1a}(t_1)$	1	2	6	9	10	11	12	13
РЭС МО(1)	x	+	+	+	+	+	+	+
РЭС ВЛ(2)	+	x	-	+	-	-	-	+
РЭС КА(6)	+	-	x	-	+	-	+	-
РЭС РЯ(9)	+	+	-	x	-	-	+	-
РЭС СМ(10)	+	-	+	-	x	+	-	-
РЭС ТВ(11)	+	-	-	-	+	x	-	+
РЭС ТУ(12)	+	-	+	+	-	-	x	-
РЭС ЯР(13)	+	+	-	-	-	+	-	x

Отличия в матрице производственных связей обусловлены тем, что некоторые регионы работают с одним управленческим центром.

Информационно-технологические связи обеспечивают передачу информации о состоянии сегментов энергетических систем при наличии соответствующих каналов и технологического оборудования связи. Диагональные элементы соответствующей матрицы отражают наличие внутренних информационно-технологических связей в региональных системах, а $R_{FF}^{1a-m:l}(t_3)$ определяет передачу информации о состоянии m -региональной системы к l -й региональной системе.

При этом связь фиксируется наличием (+) ТСОП, технологической связи и пакета телеметрической информации (табл. 8). Информационно-технологические связи в рамках ОЭС Центр определены для граничащих и производственно-увязанных регионов округа с учетом выделения региональной энергетической системы Москвы и Московской области (РЭС МО, № 1).

Таблица 8

Фрагмент матрицы информационно-технологических связей для 1-го уровня и выделенной ОЭС Центр

$R_F^{1a}(t_3)$	1	2	6	9	10	11	12	13
РЭС МО(1)	x	+	+	+	+	+	+	+
РЭС ВЛ(2)	+	x	-	+	-	-	-	+

Таким образом, для выделенной Окружной энергетической системы Центр сформированы управленческие и функциональные связи, что позволяет их детализировать на следующем уровне организационной сложности.

На следующем шаге сформируем набор матриц для 2-го уровня организационной сложности — для выделенной региональной энергетической системы РЭС МО в рамках ОЭС Центр.

Региональная энергетическая система, в свою очередь, представляет собой сеть субъектов энергетики (СЭ), управляемую региональным диспетчерским управлением (РДУ). Каждая региональная система организует и контролирует функционирование в среднем до 10 СЭ.

Для каждого субъекта энергетики региональное диспетчерское управление будет формировать однотипный набор управленческих воздействий и рекомендаций, а также получать от них комплект документов и данных, характеризующих фактическое состояние энергосистемы в зоне ответственности каждого субъекта энергетики.

Поэтому для выделенной РЭС МО приведем описание управленческих взаимосвязей только с одним субъектом (табл. 9), остальные будут аналогичны.

При этом матрица пространственных связей будет симметричной относительно главной диагонали, а $R_{FF}^{2al-u:p}(t_1)$ — пространственная связь между зонами ответственности u -го и p -го субъектов. Для Московского региона (включающего 4 субъекта энергетики) матрица получает вид табл. 10.

Аналогично можно представить матрицы производственных и информационно-технологических связей для системы данного уровня.

При этом в каждой матрице элемент $R_{FF}^{2al-p:u}(t_{2/3})$ отражает соответствующую связь между зонами ответственности p -го и u -го субъектов.

Диагональные элементы матрицы отражают внутренние производственные или информационно-технологические связи между зонами ответственности субъектов энергетики.

Это позволило для Московского региона сформировать две похожие матрицы (табл. 11).

Таким образом, для выделенной Региональной энергетической системы Москвы и Московской области сформированы управленческие и функциональные связи, что позволяет приступить к классификации и систематизации внешних связей РДУ для Москвы и Московской области.

Таблица 9

Фрагмент детальной матрицы связей для 2-го уровня для выделенной региональной энергетической системы РЭС МО в рамках ОЭС Центр

R^{2al}	РДУ МО	СЭ-1
РДУ МО	[Внутренние связи Регионального диспетчерского управления МО]	Передача информации о нарушениях в зоне ответственности СЭ-1. Передача информации об устранении устойчивых нарушений передачи ТИ, ТС в зоне ответственности СЭ-1. Передача утвержденных списков передаваемой телеметрии (ТИ, ТС) по объектам СЭ-1. Передача утвержденных схем вновь вводимых станций, подстанций. Передача информации о работах по заявкам, разрешение заявок по объектам СЭ-1. Передача запросов на сбор и анализ свода данных от всех объектов СЭ-1. Передача регламентов взаимодействия с РДУ МО и СЭ-1
СЭ-1	Передача информации об устранении нарушений в зоне ответственности СЭ-1. Передача отчетов об устранении нарушений в зоне ответственности СЭ-1. Подача списков передаваемой телеметрии (ТИ, ТС). Подача схем вновь вводимых станций, подстанций в зоне ответственности СЭ-1. Подача заявок на проведение работ по объектам СЭ-1. Подача свода данных по всем объектам СЭ-1. Передача регламентов взаимодействия РДУ МО и СЭ-1 в работу	[Внутренние связи зоны ответственности СЭ-1]

Таблица 10

Матрица пространственных связей для 2-го уровня для выделенной региональной энергетической системы РЭС МО

$R_F^0(t)$	СЭ-1	СЭ-2	СЭ-3	СЭ-4
СЭ-1	х			
СЭ-2	Есть	х		
СЭ-3	–	Есть	х	
СЭ-4	Есть	–	есть	х

Таблица 11

Матрица производственных/информационно-технологических связей для 2-го уровня для выделенной региональной энергетической системы РЭС МО

$R_F^{2al}(t_{2/3})$	СЭ-1	СЭ-2	СЭ-3	СЭ-4
СЭ-1	х	+	–	+
СЭ-2	+	х	+	–
СЭ-3	–	–	х	–
СЭ-4	+	–	+	х

Обобщая перечисленные описания связей в энергетических системах разных уровней организационной сложности, можно представить их в единой матричной структуре (табл. 12). В этой матрице элементы, выделенные жирным шрифтом, определяют связи РДУ; элементы, выделенные курсивом, определяют связи ОДУ; элементы, выделенные жирным курсивом, — связи ЦДУ.

Раскрытие содержания позиций матрицы, представленной в табл. 12, приведено в табл. 13. Элементы над главной диагональю раскрываются связью по строкам: от позиции (x, x) к позиции $(x, x+n)$. Элементы под главной диагональю раскрываются связью по столбцам: от позиции $(x+n, x)$ к позиции (x, x) . Элементы главной диагонали (x, x) отражают внутренние связи соответствующего сегмента энергетической системы.

Таблица 12

Обобщенное описание связей сегментов энергетической системы

0-й уровень	Гос ЭС	ЦДУ	{ОЭС _i }				
1-й уровень			ОЭС _i	ОДУ _i	{РЭС _{ij} }		
2-й уровень					РЭС _{ij}	РДУ _{ij}	{СЭ _k ^{ij} }
3-й уровень							СЭ _k ^{ij}
	1	2	3	4	5	6	7
1	1.1	1.2	1.3	—	—	—	—
2	2.1	2.2	2.3	2.4	—	—	—
3	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	—	—
4	—	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	—
5	—	—	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7
6	—	—	—	6.4	6.5	6.6	6.7
7	—	—	—	—	7.5	7.6	7.7

Таблица 13

Систематизация внешних связей для РДУ

Позиция	Содержание
5.6	Передача регламентов по согласованию единого процесса производства, преобразования, передачи и потребления электрической энергии в региональной энергосистеме
5.7	Передача регламентов по передаче/подготовке сводки различных видов (статистических, фактических, оперативных) данных для всех подведомственных СЭ
6.5	Получение информации о контроле выполнения регламентов по согласованию единого процесса производства, преобразования, передачи и потребления электрической энергии в региональной энергосистеме. Получение информации о контроле проведения проверок на соответствие компетенций сотрудников занимаемым должностям
7.5	Получение информации о контроле выполнения регламентов по передаче /подготовке сводки различных видов (статистических, фактических, оперативных) данных от всех подведомственных СЭ. Получение информации о контроле проведения проверок на соответствие компетенций сотрудников занимаемым должностям
6.7	Передача утвержденных планов-графиков выработки и потребления мощности для рынков электроэнергии. Решение о внедрении вновь разработанных программно-аппаратных комплексов (ПАК) для усовершенствования деятельности по управлению энергетическими подсистемами. Получение информации о контроле проведения проверок на соответствие компетенций сотрудников занимаемым должностям
7.6	Передача макетов информации по выработке/потреблению электроэнергии в зоне ответственности СЭ. Подтверждение о получении планов-графиков по выработке и потреблению мощности. Передача информации о факте возникновения аварий на объектах электроэнергетики. Передача информации о состоянии оборудования. Передача статистических, фактических, оперативных данных, собранных со всех подведомственных СЭ. Передача информации о контроле рынков электроэнергии (мощности, балансирующего рынка, рынка на сутки вперед) по всем СЭ. Передача информации о контроле возникновения нарушений передачи телеметрии. Передача информации о контроле возникновения нарушений в работе оборудования в зоне ответственности СЭ. Передача на согласование списков технологической информации. Передача на согласование схем объектов электроэнергетики. Передача на согласование разрешенных заявок. Передача по запросу на сбор и анализ сводных данных от всех СЭ. Передача информации о факте возникновения каких-либо нарушений в зоне ответственности
4.6	Передача на согласование электроэнергетического режима РЭС. Передача утвержденных планов-графиков рынков электроэнергии для РЭС
6.4	Передача информации о контроле наличия фактов возникновения небалансов между данными, получаемыми от всех подведомственных РЭС (для ОЭС). Передача информации о контроле наличия фактов возникновения нарушения на объектах по линиям 750, 500 кВ в РЭС. Согласование планов-графиков рынков электроэнергии РЭС (для ОЭС). Передача информации о контроле факта возникновения нарушения в работе связующего оборудования РЭС. Передача вновь разработанных программно-аппаратных комплексов для усовершенствования деятельности по управлению региональной энергосистемой

Закключение

Разработанная многоуровневая модель энергетического комплекса позволила классифицировать все многообразие связей на каждом уровне организационной сложности.

Анализ связей регионального диспетчерского управления обусловил систематизацию его внешних связей как с системами вышестоящего уровня (ОЭС и ОДУ), так и с системами нижежащего уровня (системы субъектов энергетики).

Выявленные внешние связи РДУ позволят учесть все процессы по их обработке и смоделировать деятельность РДУ с учетом внутренних связей.

Модель деятельности РДУ обеспечит повышение эффективности управления региональной энергосистемой и повышение уровня подготовки

и переподготовки кадров для всего энергетического комплекса.

Литература

1. Винарская Г. А., Волкова Г. Д. Моделирование деятельности управляющей компании в энергетике // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2019. № 2. С. 30—36.

2. Винарская Г. А., Волкова Г. Д., Тюрбеева Т. Б. Разработка модели деятельности управляющей компании в энергетическом комплексе // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2019. № 4. С. 15—19.

3. Тюрбеева Т. Б., Волкова Г. Д., Семьячкова Е. Г., Винарская Г. А. Модели извлечения проблемно-ориентированных знаний из научных публикаций и технической документации: XII мультikonференция по проблемам управления (МКПУ-2019): материалы научных сессий. — Ростов-на-Дону, Таганрог: Изд-во Южного федерального университета, 2019. С. 79—83.

4. Винарская Г. А., Волкова Г. Д. Многоуровневое моделирование энергетических систем // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2020. № 2. С. 12—15.

CLASSIFICATION AND IDENTIFICATION OF EXTERNAL RELATIONS OF THE MANAGEMENT COMPANY IN MULTI-LEVEL MODELING OF ENERGY SYSTEMS

G. A. Vinarskaya, G. D. Volkova

Moscow State University of Technology "STANKIN", Moscow, Russia

The article presents the result of research and modeling of the management company's activities in the energy industry. The developed multi-level model of the energy system made it possible to identify and classify the external relations of the management company and classify them taking into account its place in the hierarchy of energy systems.

Keywords: model of activity of the organization, management company, energy system, external relations of the organization.

Винарская Галина Александровна, аспирант.

E-mail: sergeeva_galina2011@mail.ru

Волкова Галина Дмитриевна, заведующая кафедрой.

E-mail: cog-par@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 30 ноября 2020 г.

УДК 621.039.55

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ АЭС

В. И. Сурин, канд. техн. наук

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия,

А. К. Адаменков, канд. техн. наук; И. В. Малахов; В. Д. Ожерельев

Ростовская АЭС, г. Волгодонск, Россия

Разработан алгоритм последовательных математических преобразований с использованием функции дискретного линейного отклика, который применен к результатам электрофизического неразрушающего контроля (ЭФК), проведенного в процессе производственно-профилактических работ на первом энергоблоке Ростовской атомной станции. Показано, что использование функции низкочастотного FIR-фильтра в составе сверки совместно с быстрым преобразованием Фурье дает положительные результаты при масштабировании локализованных структурных неоднородностей в сварных соединениях на высоких уровнях фиксации. Наилучшие результаты аппроксимации в частотной области получены с помощью разработанного алгоритма спектрального анализа результатов ЭФК на основе двойного дискретного преобразования Фурье.

Ключевые слова: электрофизический неразрушающий контроль промышленного оборудования, метод сканирующей контактной потенциометрии, частотно-временной анализ экспериментальных данных.

Полное решение задачи аппроксимации экспериментальных результатов ЭФК при ступенчатом масштабировании выявленных структурных неоднородностей позволит повысить надежность результатов неразрушающего контроля материалов и изделий.

Основным методом электрофизического контроля является метод сканирующей контактной потенциометрии (СКП), который находит широкое применение при решении многих прикладных задач. Наиболее показательные результаты СКП продемонстрированы авторами при неразрушающем контроле (НК) сварных соединений в [1–3].

В данной работе продолжены исследования сварных соединений промышленного технологического оборудования с применением метода СКП. Выбраны сварные соединения трубопровода, находящегося в турбинном отделении первого энергоблока Ростовской АЭС. Исследования проводили в период останова реакторной установки и проведения плановых промышленно-профилактических работ. В продолжение ранее опубликованных результатов [4, 5] авторами усовершенствован метод частотно-временного анализа для улучшения локализации структурных неоднородностей на высоких уровнях фиксации.

Методика ЭФК сварного соединения трубопровода турбинного отделения

Для исследования использовали два сварных соединения трубопроводов конденсатопровода, диаметры которых соответствовали значениям $D_y = 500$ мм и $D_y = 300$ мм. Для удобства проведения измерений по длине окружностей сварных соединений трубопроводов была закреплена

разметка, нанесенная на полосы бумаги шириной 2 см, с ценой деления 2 мм. Шаг измерений изменялся в пределах от 2 до 5 мм.

Измерения контактной разности потенциалов были выполнены ручным поточечным сканированием с помощью программно-аппаратного комплекса мобильной диагностической системы, размещенной на ноутбуке Asus X554L [6]. Для обработки результатов контроля использовали программируемый амплитудный дискриминатор (ПАД) измерительных сигналов. Узкополосный фильтр позволяет настраивать ПАД по амплитуде, начиная с уровня десятых микровольт, с шагом 0,1 мкВ, широкополосный — от единиц и до десятков милливольт. Измерительная система управляется OS Windows. Частота дискретизации измерений составляет 1 Гц. Ручное сканирование было выполнено по восьми трекам для одного сварного соединения и по пяти — для другого преобразователем из стали X18H10T [7].

Получены также результаты измерений методом магнитной анизотропии [8, 9].

На рис. 1 приведен пример потенциограммы ЭФК сварного соединения на уровне фиксации $SLS = 3,959$, на которой видны многочисленные неоднородности в виде темных пятен и узких темных вертикальных полос.

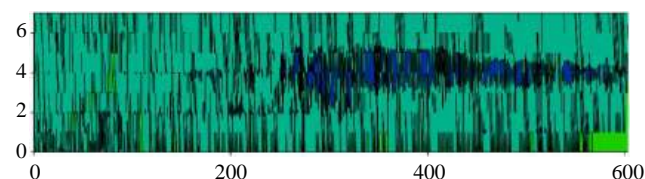


Рис. 1. Потенциограмма первого сварного соединения на уровне фиксации $SLS = 3,959$. По оси "x" отложены отсчеты, по оси "y" — номера треков (измерительных дорожек)

Масштабируя уровень локализации струк-

турных неоднородностей и применяя процедуру последовательной амплитудной дискриминации сигналов, на потенциограммах можно получить изображения отдельных неоднородностей, как это показано на рис. 2. Данная неоднородность локализована на 6-й измерительной дорожке (отсчет значений ведется от нуля) на уровне фиксации SLS = 6.

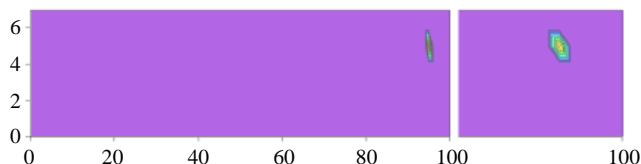


Рис. 2. Вид одиночной структурной неоднородности на уровне фиксации SLS = 6. Справа неоднородность показана в более крупном масштабе

Последовательность операций и результаты применения частотно-временного анализа

Степень корреляции результатов спектрального анализа и результатов поточечного сканирования зависит от правильного выбора последовательности применения линейных дискретных операторов. Продемонстрируем это на примере одиночной структурной неоднородности (рис. 2).

Дискретное преобразование Фурье $\Phi[k]$ по N узлам экспериментальной выборки определяется обычным образом:

$$\Phi[k] = \sum_{n=0}^{N-1} f[n] \exp\left(\frac{-i \cdot 2\pi kn}{N}\right), \quad (1)$$

где $0 \leq k < N$; $f[n]$ — значения функции контактной разности потенциалов в различные моменты времени.

На рис. 3 показан результат применения БПФ к одиночной структурной неоднородности, изображенной на рис. 2. Видно, что в соответствии с теорией спектрального анализа неоднородность локализуется в частотной области (в виде полуволны) и делокализуется во временной области. Другое часто используемое в данном случае выражение "неоднородность" локализуется на бесконечности.

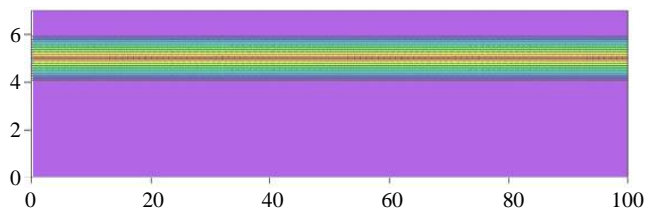


Рис. 3. Вид модуля спектральной функции быстрого преобразования Фурье (БПФ) на уровне фиксации SLS = 6

Построим свертку $\varphi[n]$ из функций преобразования Фурье и модифицированной оконной функции Хемминга Hamm отдельно для каждого из восьми измерительных треков:

$$\varphi[n] = \sum_{k=0}^{N-1} \Phi[k] \text{Hamm}[n-k]. \quad (2)$$

Полученные результаты запишем в матрицу.

Для сравнения полученных результатов рассчитаем свертку из функций преобразования Фурье и функции FIR-фильтра winham [5]:

$$\varphi[n] = \sum_{k=0}^{N-1} \Phi[k] \text{winham}[n-k]. \quad (3)$$

Результаты двух рассчитанных свертки приведены на рис. 4.

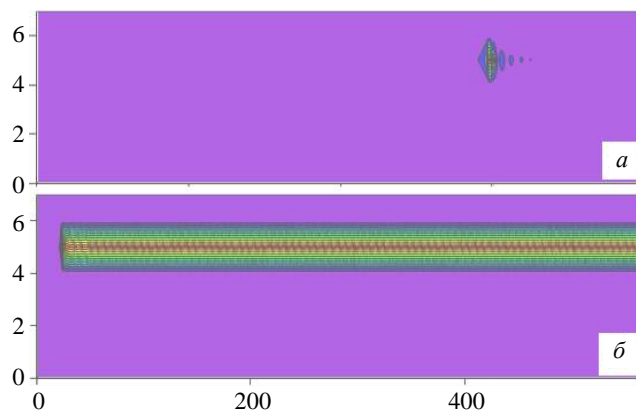


Рис. 4. Вид модуля спектральной функции для свертки из функций преобразования Фурье и модифицированной оконной функции Хемминга Hamm (а) и соответствующей функции для свертки из функций преобразования Фурье и функции FIR-фильтра winham (б)

Из данного рисунка видно, что в первом случае неоднородность локализуется по частоте корректно, однако локализация по времени не соответствует истинному значению (рис. 2). Второй представленный результат (рис. 4, б) практически совпадает с результатом, приведенным на рис. 3.

Дальнейший этап аппроксимации одиночной неоднородности в частотной области заключался в следующем. К полученному результату (рис. 4, б) были последовательно применены следующие процедуры:

- построена матрица размером 8×100 , элементы которой представляют собой сумму элементов двух первых преобразований, (1) и (3);
- к полученным матричным элементам применено повторное преобразование Фурье;
- произведена коррекция новых матричных элементов по индексу числа отсчетов.

Результат расчетов представлен на рис. 5.

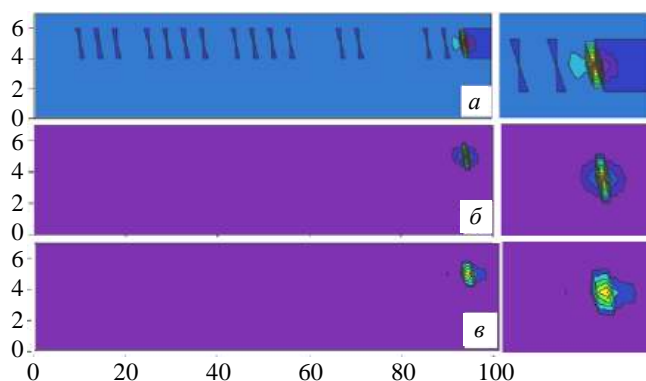


Рис. 5. Вид реальной части спектральной функции (а), модуля спектральной функции (б) и модуля комплексной части спектральной функции (в).

Справа неоднородность показана в более крупном масштабе

Как видно из рис. 5, наилучшее совпадение изображений неоднородности на потенциограмме (рис. 2) и ее спектрального аналога получено для модуля всей спектральной функции (рис. 5, б) и модуля ее комплексной части (рис. 5, в). На спектрограмме реальной части (рис. 5, а) наблюдается интерференционная картина (частичная делокализация неоднородности) из-за отсутствия в расчетах достаточного числа гармоник. На рис. 5, б и в интерференционные эффекты менее заметны.

Следует также отметить, что область структурной неоднородности находится под влиянием действующих нормальных и касательных механических напряжений (это следует из рис. 5, а и б). Таким образом, методы спектрального анализа сохраняют результат, который отчетливо наблюдается на потенциограммах.

Чтобы улучшить результаты расчета, был применен алгоритм двойного ДПФ, который похож на алгоритм Гильберта [7], но в то же время имеет и некоторые отличия. Для этой цели были выполнены следующие процедуры:

- построена матрица, элементы которой представляют собой сумму элементов преобразования (1) и скорректированного того же преобразования по индексу числа отсчетов. Элементы скорректированного преобразования умножены на мнимую единицу;

- взято повторное преобразование Фурье (1), и окончательно все матричные элементы скорректированы по индексу числа отсчетов.

Применение данного алгоритма полностью решает поставленную задачу и обеспечивает удовлетворительную аппроксимацию экспериментальных результатов (рис. 6). Отметим существенную деталь: в последнем примере не использованы функции FIR-фильтра.

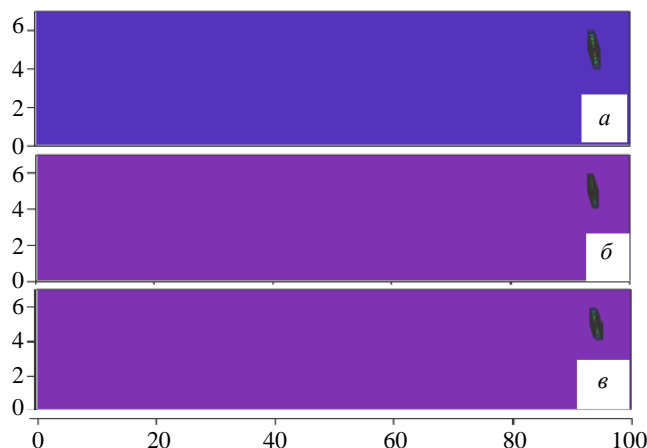


Рис. 6. Вид реальной части спектральной функции (а), модуля спектральной функции (б) и модуля комплексной части спектральной функции (в)

Заключение

Методом СКП исследованы сварные соединения трубопровода в турбинном отделении первого энергоблока Ростовской атомной станции в процессе плановых производственно-профилактических работ. Экспериментальные результаты обработаны с помощью алгоритма последовательных математических преобразований с использованием функции дискретного линейного отклика, который применен к изображению одиночной структурной неоднородности, локализованной на уровне фиксации $SLS = 6$.

Показано, что использование функции низкочастотного FIR-фильтра в составе свертки совместно с быстрым преобразованием Фурье дает удовлетворительные результаты при масштабировании одиночных структурных неоднородностей в сварных соединениях на высоких уровнях фиксации.

Разработан алгоритм спектрального анализа результатов ЭФК на основе двойного дискретного преобразования Фурье, отличающийся от известного преобразования Гильберта, и получены удовлетворительные результаты аппроксимации одиночной структурной неоднородности в частотной области.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований и выделенным грантом по договору № 19-08-00266/19 от 10.01.2019.

Литература

1. Абу Газал А. А., Сурин В. И., Алвахеба А. И., Бекетов В. Г., Дембицкий А. Е., Гусев Д. А. Результаты применения электрофизического метода неразрушающего контроля в заводских условиях: тез. докладов VII Межд. науч. школы-конференции (Современные проблемы физики и технологии). Ч. 2. — М.: НИЯУ МИФИ, 2018. С. 181, 182.

2. Alwaheba A. I., Surin V. I., Ivanova T. E., Ivanov O. V., Beketov V. G., Goshkoderov V. A. Detection of defects in welded joint by scanning contact potentiometry // *Nondestructive Testing and Evaluation*, 2020.

3. Алвахеба А. И., Сурин В. И., Бекетов В. Г., Иванов О. В., Иванова Т. Е. Сравнительный анализ результатов радиографического и электрофизического неразрушающего контроля сварных соединений модельных образцов: труды 18-й Межд. молодежной конф. "Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM-2018)". — М.: ИПУ РАН, 2018. С. 177, 178.

4. Surin V. I., Abu Ghazal A. A., Abeer Al-bqoor. Spectral analysis of diagnostic signals based on integral transforms // *Modern problems of theory machines/ SEC "MS"*. North Charleston. USA, 2016. Iss. 2. P. 37—47.

5. Сурин В. И., Волкова З. С. Алгоритм аппроксимации экспериментальных данных на основе низкочастотного фильтра с конечной импульсной характеристикой // *Ин-*

формационные технологии в проектировании и производстве. 2020. № 4. С. 25—29.

6. Сурин В. И., Абу Газал А. А., Волошин Е. В., Тельнов Е. Ю., Титовец Д. О. Разработка средств и методов обработки сигналов электрофизической диагностики для физико-механических испытаний материалов // *Информационные технологии в проектировании и производстве*. 2017. № 4. С. 55—59.

7. Time frequency signal analysis and processing / ed. by Boashash B. — ELSEVIER, 2003.

8. Адаменков А. К., Веселова И. Н., Малахов И. В. Обеспечение контроля термомеханической нагруженности узла приварки коллектора теплоносителя к патрубку Ду1200 парогенераторов ПГВ-1000 // *Глобальная ядерная безопасность*. 2015. № 4(17). С. 84—89.

9. Адаменков А. К., Веселова И. Н., Шницер В. Я. Оценка развития эрозивно-коррозионного износа с помощью метода измерения магнитной анизотропии // *Глобальная ядерная безопасность*. 2019. № 1(30). С. 113—119.

SPECTRAL ANALYSIS OF THE RESULTS OF ELECTROPHYSICAL NON-DESTRUCTIVE TESTING OF NPP TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

V. I. Surin

National Research Nuclear University NRNU "MEPhI", Moscow, Russia

A. K. Adamenkov, I. V. Malakhov, V. D. Ozherelyev

Rostov NPP, Volgodonsk, Russia

We have developed an algorithm for successive mathematical transformations using a discrete linear response function, which is applied to the results of electrophysical non-destructive testing carried out in the process of preventive work at the first power unit of the Rostov NPP. It is shown that the use of the low-frequency FIR filter function as part of the reconciliation, together with the fast Fourier transform, gives positive results when scaling localized structural inhomogeneities in welded joints at high fixation levels. The best results of approximation in the frequency domain were obtained using the developed algorithm for spectral analysis of the control results based on the double discrete Fourier transform.

Keywords: electrophysical non-destructive testing of industrial equipment, scanning contact potentiometry, time-frequency analysis of experimental data.

Сурин Виталий Иванович, заведующий лабораторией.

E-mail: VISurin@mephi.ru

Адаменков Андрей Константинович, главный эксперт управления по подготовке проектов.

E-mail: a.adamenkov@ase-ec.ru

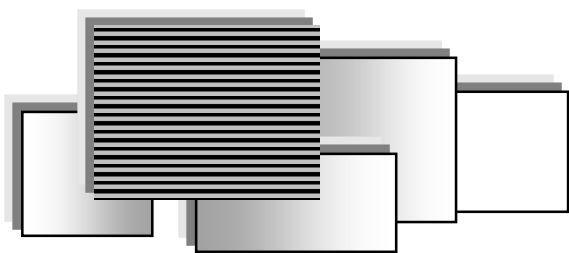
Малахов Иван Васильевич, заместитель главного инженера.

E-mail: malakhov-iv@vdpnp.rosenergoatom.ru

Ожерельев Виктор Дмитриевич, специалист.

E-mail: victorozhereliev@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 15 декабря 2020 г.



ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

УДК 51-7:519.174: 519.245:658.512.1

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СТРУКТУРНОЙ МОДЕЛИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА В ИМИТАЦИОННУЮ, ОСНОВАННУЮ НА МОДИФИЦИРОВАННОЙ РАСКРАШЕННОЙ СЕТИ ПЕТРИ

Ю. Г. Коган, канд. техн. наук; А. А. Щербина

Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», Москва, Россия

Описан переход от структурного моделирования бизнес-процессов в нотации Event Driven Process Chain (EPC) или Business Process Modeling Notation (BPMN) к имитационному моделированию в нотации модифицированной раскрашенной сети Петри (MCPN).

Ключевые слова: управление предприятием, имитационное моделирование, раскрашенные сети Петри, бизнес-аналитика, принятие решений, EPC, BPMN, MCPN.

Для построения модифицированной раскрашенной сети Петри, адекватно отображающей реальный бизнес-процесс, необходимо иметь корректные исходные данные, касающиеся и алгоритма выполнения процесса, и участвующих в нём объектов. Решение задачи получения таких исходных данных недостаточно отражено в литературе даже для классической раскрашенной сети Петри [1, 2].

Исследования показали, что при правильном подходе требуемые исходные данные большей частью можно получить из тех моделей, которые формируются в рамках структурного моделирования бизнес-процесса, но для этого подходит не всякая нотация такого моделирования [3]. Цель работы — описание перехода от структурного моделирования бизнес-процессов в нотации EPC, реализованной в MS Office Visio, или в нотации BPMN к имитационному моделированию в нотации модифицированной раскрашенной сети Петри (MCPN).

Прежде всего необходимо предъявить требования к тому, какие именно элементы должна в себя включать EPC-диаграмма, чтобы дать необходимые исходные данные для построения соответствующей модифицированной раскрашенной сети Петри.

Стандартная EPC-диаграмма — ограниченное статическое описание процесса. Она может лишь породить архитектуру нераскрашенной

сети Петри в некотором ограниченном количестве случаев, т. е. она не может ничего сообщить о раскраске маркеров, о появлении технических маркеров и позициях [3, 4]. При переходе от EPC-диаграммы к сетям Петри могут образоваться дополнительные позиции в сети, не имеющие "исходника" в EPC-диаграмме. Необходимо проделать определённую работу, чтобы получить из этой EPC-диаграммы сеть Петри, и не простую, а параметрическую и раскрашенную.

Таким образом, серьёзным недостатком практического применения стандартных EPC-моделей в рассматриваемых условиях является невозможность видеть явного представления разнородных объектов в процессе (материалов, документов, ресурсов) маркерами сети Петри при переходе от структурного моделирования к имитационному. Применительно к построению структурной модели процесса в MS Office Visio эту проблему можно решить, представив все ресурсы процесса как информационные и отображая их синим значком, как и документы. Таким способом можно более-менее адекватно отобразить на модели потоки преобразований ресурсов в результаты [3].

Соответственно, необходимо модернизировать стандартную EPC-диаграмму и построить такую EPC-диаграмму, где будет явно видно, как изменяются значения атрибутов информационных

объектов при выполнении каждого действия. Эта информация и даёт структуру раскраски и правила её заполнения для сети Петри [2, 5].

Для изменения ЕРС-диаграммы перенесём материалы (ресурсы, документы и т. д.) из самой функции на вход и выход данной функции. В результате станет ясно, какие именно документы и материалы идут на вход и как они преобразуются на выходе.

Однако ЕРС-диаграмма сама по себе не даёт ещё должного представления о структуре даже классической сети Петри, тем более о раскрашенной. Необходимо задать определённый набор правил, позволяющий перейти от графических примитивов ЕРС-модели к позициям, переходам и маркерам раскрашенной сети Петри, корректно отражающей бизнес-процесс [3].

На рис. 1, 2 представлены примеры перехода функций и событий из ЕРС-диаграммы в позиции и переходы параметрической сети Петри, а также формирование управляющих позиций в этой сети.

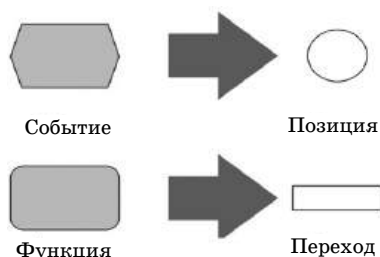


Рис. 1. Переход элементов ЕРС-диаграммы в элементы сети Петри (I)

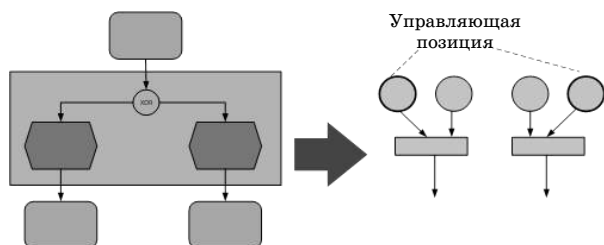


Рис. 2. Переход элементов ЕРС-диаграммы в элементы сети Петри (II)

Business Process Model and Notation является стандартом для моделирования бизнес-процессов от компании Object Management Group (OMG). BPMN предоставляет графическую нотацию для определения бизнес-процессов в Business Process Diagram (BPD).

Целью BPMN является поддержка управления бизнес-процессами как для технических пользователей, так и для бизнес-пользователей с предоставлением нотации, которая интуитивно понятна для бизнес-пользователей, но может представлять сложную семантику процесса.

Как указано в [4], моделирующие возможности сетей Петри и их эффективность в приложениях объясняются прежде всего тем, что сеть Петри — это интеграция графа и дискретной

динамической системы. Таким образом, она может служить и статической, и динамической моделью представляемого с её помощью объекта. Особую роль сети Петри играют при моделировании параллельных процессов. Здесь это едва ли не самый удобный и многообещающий инструмент исследований. Немаловажное значение имеет известное преимущество этих сетей — удобство их программирования на ЭВМ.

Применение сетей Петри не ограничивается моделированием процессов и динамических систем, их с успехом используют в теоретическом программировании, при решении задач функциональной спецификации и верификации программного обеспечения, организации вычислительных процессов, управления.

В [6] указано, что общие элементы BPMN можно использовать в нескольких типах диаграмм (например, "Процесс"). Общие элементы предоставляют разработчикам моделей возможность показывать дополнительную информацию о "Процессе", такую, как операции, определение ошибок и ресурсы, на которые могут ссылаться действия.

Далее необходимо создать декларацию MCPN, соответствующую стандартной схеме конструкций BPMN 2.0. Эти объявления позволяют преобразовывать элементы BPMN и их атрибуты один в один.

Далее приведем пример отображения определения схемы BPMN ItemDefinition на объявление набора цветов фиксированной длины MCPN, причём перечисление `tItemKind`, которое определяет природу ItemDefinition с одним из информационных или физических значений, отображается на набор цветов перечисления MCPN:

```
colset tItemDefinition = record id: STRING
isCollection: BOOL
itemKind: tItemKind
structureRef: STRING;
colset tItemKind = with Information | Physical
```

Все другие схемы общих элементов BPMN отображают на декларации MCPN, используя ту же идею отображения ItemDefinition, которая была показана ранее. В табл. 1 приведено обобщение сопоставления общих элементов и конструкций MCPN для общих элементов BPMN.

Основными правилами преобразования для элементов модели BPMN в MCPN являются:

- начальные и конечные события преобразуются в места MCPN;
- активность выражается как место MCPN;
- объект соединения выражается в виде дуги MCPN;
- решение в узле шлюза реализовано как переход в MCPN;
- временное ограничение реализовано как комбинация временных маркеров и функций в MCPN.

Таблица 1

Сопоставление общих элементов

Элементы BPMN	Элементы MCPN
Message	colset tOptionalItemDefinition = list tItemDefinition with 0..1; colset tMessage = record id: STRING name: STRING itemRef: tOptionalItemDefinition;
Resource	colset tResourceParameters = record name: STRING isRequired: BOOL paramType: tItemDefinition; colset tResource = record id: STRING name: STRING resourceParameters: tResourceParametersList;
Error	colset tOptionalItemDefinition = list tItemDefinition with 0..1; colset tError = record id: STRING name: STRING errorCode: STRING structureRef: tOptionalItemDefinition;
Interface	colset tInterface = record id: STRING name: STRING implementationRef: STRING;
Operation	colset tOptionalMessageList = list tMessage with 0..1; colset tOperation = record id: STRING name: STRING interfaceRef: tInterface implementationRef: STRING inMsg: tMessage outMsg: tOptionalMessageList errorRef: tErrorList;

На рис. 3 показан пример преобразования из модели BPMN в модель MCPN.

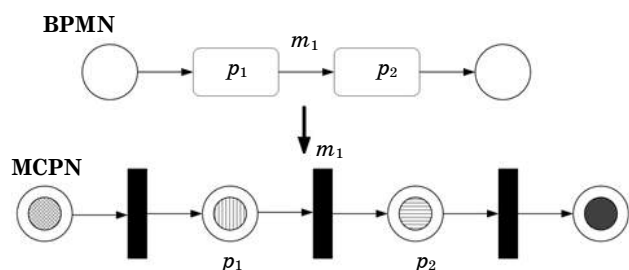


Рис. 3. Преобразование диаграммы BPMN в диаграмму MCPN

Кроме того, в секции шлюза в BPMN точка выбора оценивает условия перехода одно за другим. Если переход определен неправильно, то путь не может быть выбран и процесс

останавливается. Чтобы избежать этого, условие "else" добавляется к точке выбора и преобразуется в MCPN (рис. 4).

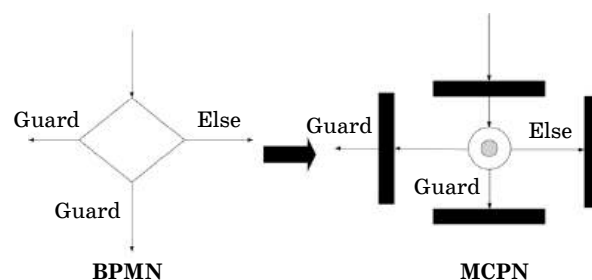


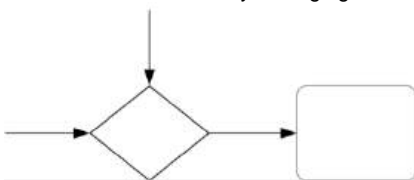
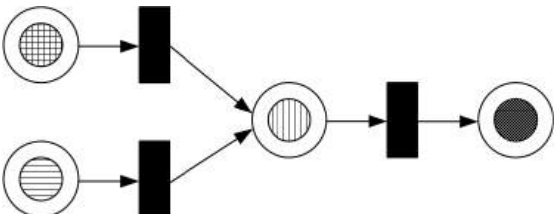
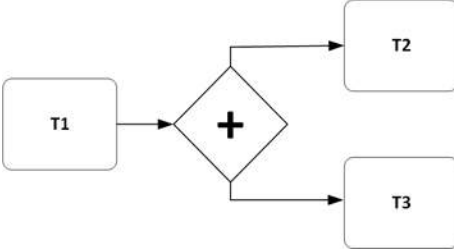
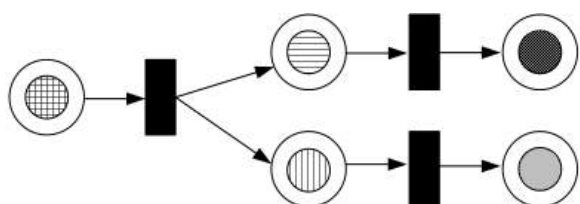
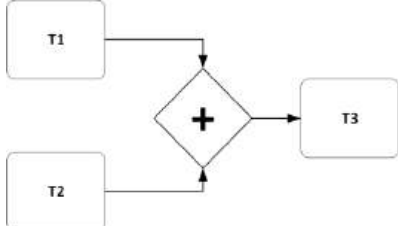
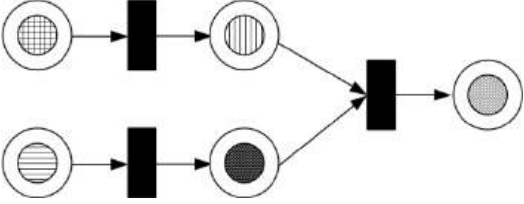
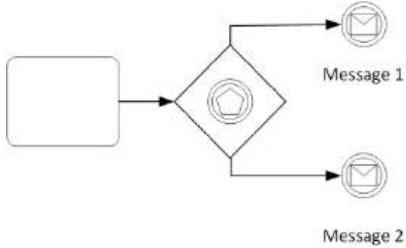
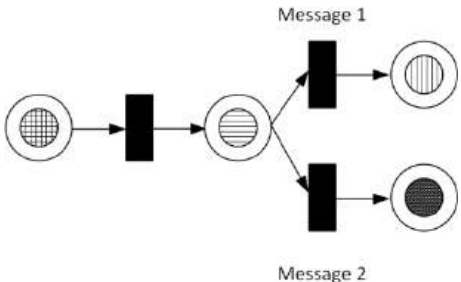
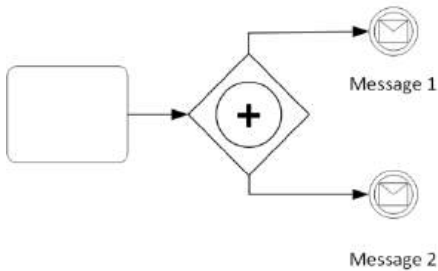
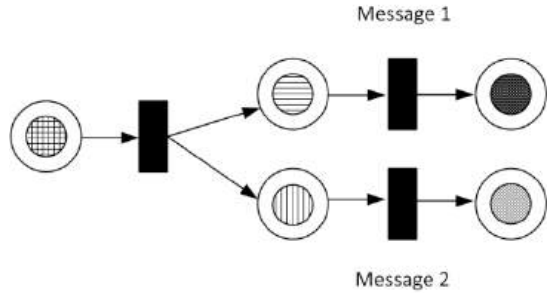
Рис. 4. Преобразование выбранной точки (условия)

Шлюзы используют для управления взаимодействием потоков последовательности, когда они сходятся и расходятся в рамках процесса.

В табл. 2 представлено итоговое сопоставление шлюзов BPMN с элементами MCPN.

Таблица 2

Итоговое сопоставление шлюзов BPMN с элементами MCPN

Шлюзы BPMN	Сопоставление MCPN
<p>Exclusive Gateway—Merging</p> 	
<p>Parallel Gateway—Fork</p> 	
<p>Parallel Gateway—Join</p> 	
<p>Exclusive Event—based Gateway</p> 	
<p>Parallel Event—based Gateway</p> 	

Ниже предлагается укрупнённый алгоритм преобразования BPMN-модели процесса в MCPN-модель процесса (рис. 5, а). Преобразование общих элементов BPMN должно происходить в порядке зависимости, показанной на рис. 5, б.

На рис. 6 показан бизнес-процесс управления инцидентами (заявками), осуществляемый машиностроительным предприятием. Процесс вы-

полняется в результате нахождения проблемы в работе станка. Назначение заявок техническим специалистом 1-го и 2-го уровня автоматизировано в системе обработки заявок на устранение неисправности, что смоделировано в процессе управления такими заявками на рис. 6.

С использованием отображения BPMN на MCPN, описанного ранее, процесс с рис. 6, отображённый в MCPN, показан на рис. 7.

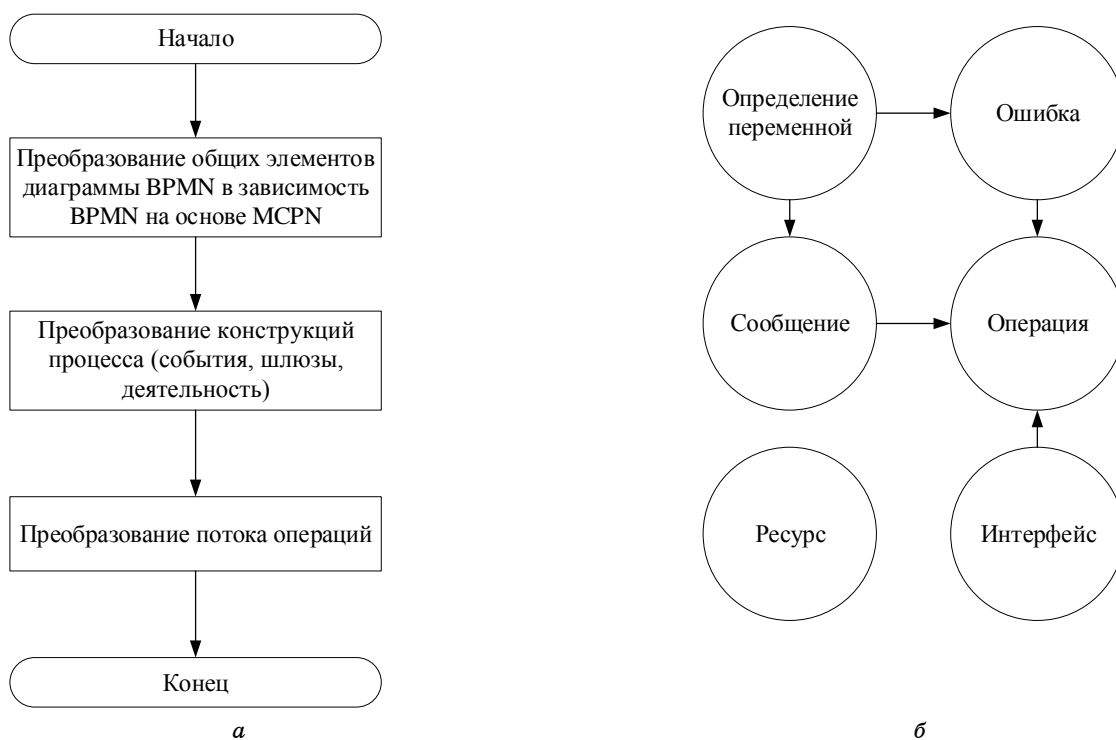


Рис. 5. Процесс преобразования BPMN в MCPN:
а — процесс преобразования; б — зависимость общих элементов

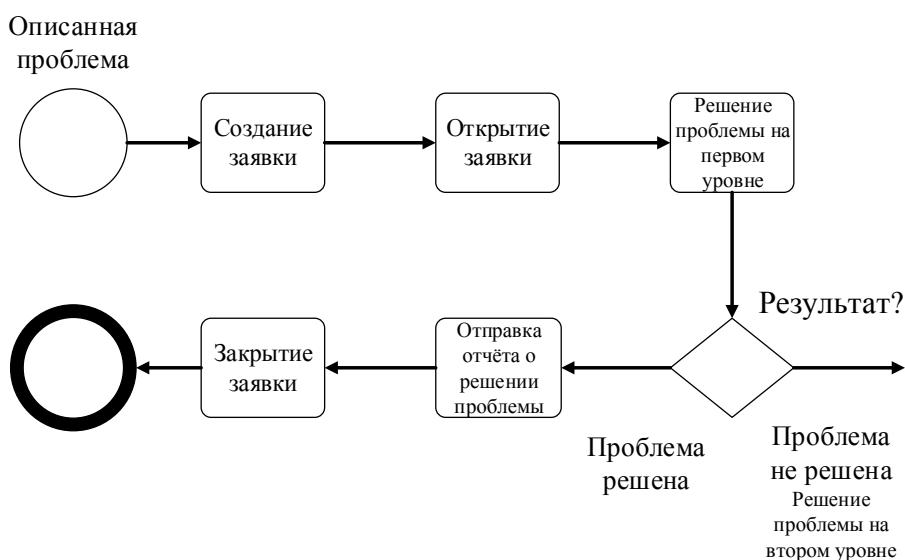


Рис. 6. Модель процесса управления заявками в BPMN

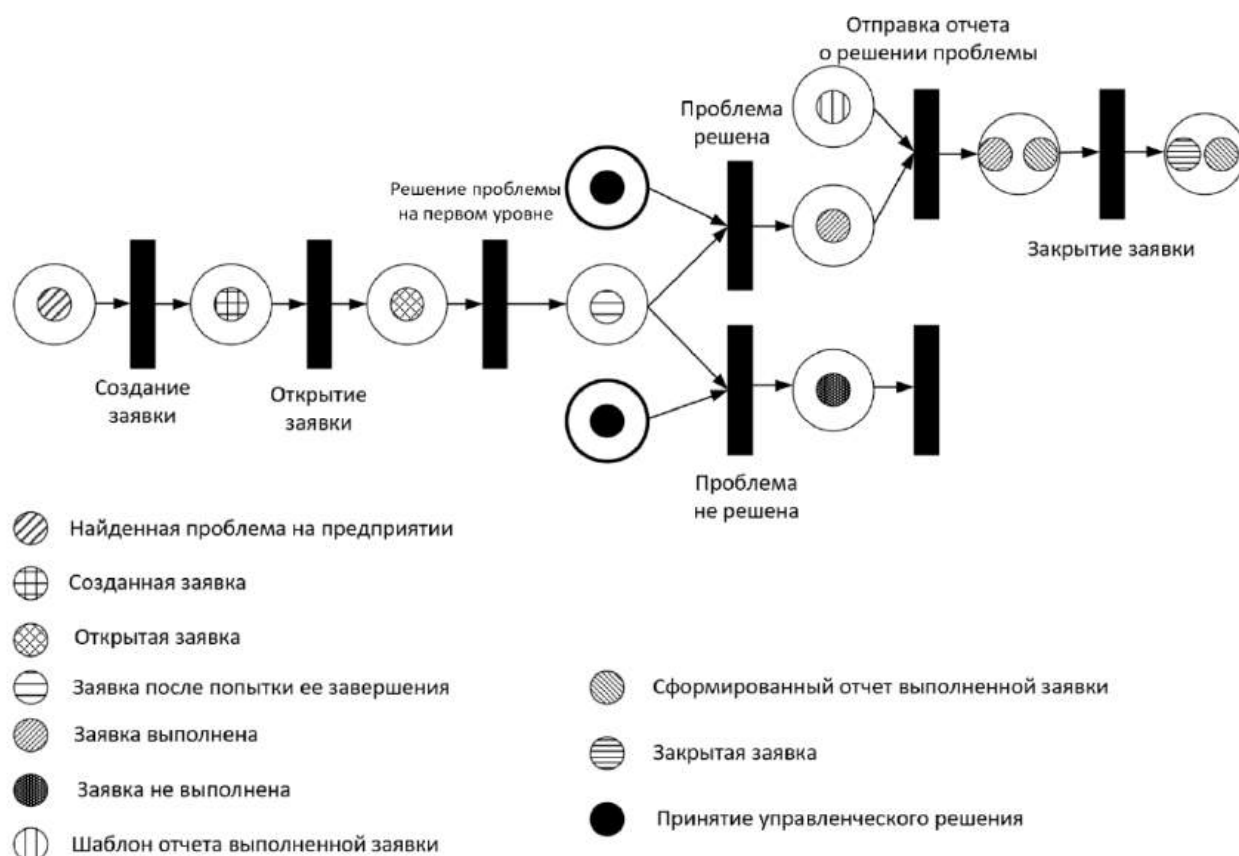


Рис. 7. Модель процесса управления заявками в MCPN

Преимуществом нотации MCPN является не только её математическая составляющая, но и её наглядность. Термин "раскрашенная" указывает на то, что маркерам необходимо сопоставлять набор параметров, формирующих "раскраску", а позициям и переходам можно задавать на входе и выходе допустимые раскраски. Кроме того, переходам в сети в качестве параметра можно задавать время и/или период срабатывания [1, 2].

Поскольку для каждой позиции и каждого перехода в рассматриваемой сети Петри можно задать допустимые или недопустимые раскраски маркеров, находящихся в позиции или поступающих в переход, появляется возможность моделировать выполнение бизнес-процесса с учётом ограничений на попадание определённых маркеров в определённые позиции и переходы.

Таким образом, применение модифицированной раскрашенной сети Петри улучшает качество и гибкость имитационного моделирования бизнес-процесса и анализа объектов исследования.

Литература

1. Коган Ю. Г., Щербина А. А. Исследование метода имитационного моделирования процессов с помощью раскрашенной параметрической сети Петри и разработка программного средства для его поддержки: мат. Всеросс. науч.-практ. конф. "Цифровая экономика: оборудование, управление, человеческий капитал". — Вологда: ООО "Маркер", 2017. С. 48—51.
2. Коган Ю. Г., Щербина А. А. Параметрическая раскрашенная сеть Петри для моделирования бизнес-процессов "цифрового" предприятия: мат. Всеросс. науч.-практ. конф. "Цифровая экономика: оборудование, управление, человеческий капитал". — Вологда: ООО "Маркер", 2018. С. 48—51.
3. Щербина А. А. Использование параметрической раскрашенной сети Петри в разработке и анализе регламентов выполнения дискретных бизнес-процессов на предприятии: мат. заключительного этапа межд. студенческой научно-практической конф. "Автоматизация и информационные технологии" (АИТ-2017). — М.: ФГБОУ ВО МГТУ "СТАНКИН", 2017. С. 92—95.
4. Захаров Н. Г., Рогов В. Н. Синтез цифровых автоматов: учеб. пособие. — Ульяновск: УлГТУ, 2003. — 135 с.
5. Jensen K., Kristensen L. M. Coloured Petri Nets Modelling and Validation of Concurrent Systems. — Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009. — 374 p.
6. Войт Н. Н., Канев Д. С., Кириллов С. Ю. Метод трансляции диаграммы с одним типом направленной связи в ингибиторную сеть Петри // Автоматизация процессов управления. 2019. № 3(57). С. 38—45.

CONVERTING BUSINESS PROCESS STRUCTURAL MODEL TO IMITATION MODEL BASED ON MODIFIED COLORED PETRI NET

Iu. G. Kogan, A. A. Shcherbina
Moscow State University of Technology "STANKIN", Moscow, Russia

This article presents the transition from business process structure model based on the Event Driven Process Chain (EPC) notation or on the Business Process Modeling Notation (BPMN) to imitation model based on the Modified Colored Petri Net (MCPN) notation.

Keywords: enterprise management, imitation modeling, Colored Petri Net, business process analysis, decision making, EPC, BCMS, MCPN.

Коган Юрий Григорьевич, доцент кафедры "Информационные технологии и вычислительные системы".

E-mail: yugr.kogan@gmail.com

Щербина Антон Анатольевич, аспирант кафедры "Информационные технологии и вычислительные системы".

E-mail: antonsh930@mail.ru

Статья поступила в редакцию 17 ноября 2020 г.

ОПТИМИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ. "ИНТЕГРАЦИОННАЯ ШИНА ESB"

Е. Э. Шабанов

АО «НПО Энергомаш» имени академика В. П. Глушко», г. Химки, Московская обл., Россия

И. И. Фахрисламов; П. Н. Чекулаев

АО «Галактика Центр», Москва, Россия

Рассмотрена возможность объединения информационных систем (ИС) предприятия в единое информационное пространство на основе использования централизованного и унифицированного событийно-ориентированного обмена сообщениями между различными ИС на базе шины Enterprise Service Bus (ESB) — сервисной шины предприятия. Шина ESB реализована на принципах сервис-ориентированной архитектуры. Представлены характеристики и показан опыт внедрения на ряде предприятий программного продукта "Галактика ESB".

Ключевые слова: цифровая экономика, информационные системы, научно-исследовательская работа, сервисная шина предприятия, сервис-ориентированная архитектура, интеграция, шина данных, обмен данными.

Рассмотрим такие разделы, как: цифровая трансформация в сфере материального и нематериального производства; направление, принимаемое развитием цифровой экономики России; роль интеграционных шин в цифровой экономике; конкурентные преимущества интеграционных шин; шина "Галактика ESB" и ее характеристики; недостатки при использовании шины и пути их устранения; опыт внедрения интеграционной шины "Галактика ESB" [1].

Цифровизация

Идет цифровая трансформация, представляющая внедрение и использование современных цифровых технологий в сфере материального и нематериального производства в целях повышения производительности и конкурентоспособности предприятий/организаций.

В России развитие цифровой экономики (ЦЭ) заложено в следующих принятых на государственном уровне документах:

- Стратегия развития информационного общества в Российской Федерации на 2017—2030 годы (Указ Президента РФ от 9 мая 2017 г. № 203) [2];
- Правительственная программа "Цифровая экономика Российской Федерации" (Распоряжение Правительства РФ от 28 июля 2017 г. № 1632-р) [3];
- "О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года" (Указ Президента РФ от 7 мая 2018 г., известный также как второй майский Указ Президента страны) [4].

Цель развития в стране ЦЭ — создание и развитие цифровой среды — инфраструктуры, что в дальнейшем должно вывести материальное производство на новый уровень и обеспечить решение проблем международной конкурентоспособности отечественного производства и национальной безопасности России. Главная цель — повышение качества жизни.

Российская правительственная программа ЦЭ предусматривает:

- создание опорной инфраструктуры для цифровой экономики;
- кардинальное совершенствование системы образования;
- обеспечение всеобщей цифровой грамотности;
- поддержку отечественных компаний — генераторов цифровых и других сквозных технологий.

Роль интеграционных шин в цифровой экономике

В крупных компаниях используется большое количество разнородных информационных систем, которые решают свои узкопрофильные задачи (например, ERP, АММ, MES, EAM и т. д.). В таких компаниях возникает потребность в разработке связующего программного обеспечения (т. к. становится все больше разных инструментов, интерфейсов и разных баз данных, в которых хранится и обрабатывается большое количество данных), позволяющего произвести интеграцию всех ИС в единое информационное пространство. Для решения этой задачи есть системы класса ESB. Однако, по данным исследований, объем внедрения систем класса ESB на отечественных предприятиях промышленности составляет всего 10—20 %, что позволяет сделать вывод о высоком потенциале данных систем на российском рынке.

Актуальность внедрения систем класса ESB обусловлена:

- значительным спросом на интеграцию приложений, ростом потребности в одновременном управлении различными сетями и системами;
- внедрением облачных платформ;
- ростом IoT-проектов, которые способствуют росту рынка ESB (число подключенных устройств увеличилось с 8,7 млрд в 2012 г. до 50,1 млрд в 2020 г.).

Конкурентные преимущества, которые дает внедрение интеграционной шины на уровне предприятия

Предприятия, планирующие внедрить интеграционную шину, — это предприятия, испытывающие традиционные проблемы лоскутной автоматизации:

- внесение НСИ в нескольких информационных системах параллельно и вручную;
- двойной ввод документов в разные информационные системы;
- несоответствие данных в различных информационных системах на одном предприятии и в целом в холдингах;
- нарушение целостности данных;
- значительные трудозатраты на создание собственных не тиражируемых решений.

По результатам внедрения интеграционной шины на предприятии будут получены следующие эффекты:

- увеличение скорости ведения оперативно-го и бухгалтерского учета;
- уменьшение объема ручного труда по ведению нормативно-справочной информации;
- исключение двойного ввода документов;
- исключение расхождения данных в информационных системах;
- повышение достоверности управленческой отчетности.

"Галактика ESB"

Одним из отечественных решений класса ESB на рынке является программный продукт "Галактика ESB". Рассмотрим более подробно функциональные возможности данного продукта:

- единый принцип разработки схем интеграции информационных систем;
- единый центр управления интеграцией с возможностью администрирования и аудита в режиме реального времени;
- передача данных между информационными системами без задержек;

- передача данных с гарантируемой доставкой в асинхронном или синхронном режимах;
- обеспечение непрерывной интеграции в режиме 24-7-365;
- возможность реализации бизнес-логики на любых этапах передачи данных;
- отсутствие необходимости адаптировать интегрируемые системы для работы с "Галактикой ESB";
- возможность запуска бизнес-функций интегрируемых систем;
- высокая скорость передачи (более 250 000 сообщений в час);
- широкие возможности горизонтального и вертикального масштабирования.

Преимущества "Галактики ESB":

- используются передовые инструменты и технологии;
- используя отечественный продукт, пользователь не подвергается санкционным рискам;
- собственная разработка, позволяющая быстро и гибко дорабатывать продукт под требования заказчика без обращения к сторонним разработчикам;
- системы не нужно дополнительно адаптировать к работе с ESB;
- консультации и техническое сопровождение пользователей в любое время по всем вопросам использования продукта.

Характеристики шины "Галактика ESB"

"Галактика ESB" — это платформа, которая предоставляет возможность обмениваться данными между ИС с помощью брокера сообщений. "Галактика ESB" разработана по модульной архитектуре, которая в сочетании с используемыми передовыми технологиями позволяет настроить интеграцию с минимальными затратами и обладает при этом широкими возможностями для кастомизации и расширения. Архитектура платформы представлена на рисунке.



Архитектура платформы
"Галактика ESB"

Адаптер — это модуль, который может быть запущен как служба или как консольное приложение. Он поставляется к каждой системе. Сервисы адаптера обеспечивают настройку и активацию модели интеграции, а также отслеживание изменений в системе, передачу данных и сохранение данных в собственной ИС.

Брокер сообщений (шина) Rabbit MQ — это приложение для работы с очередями сообщений. Он определяет очереди и их взаимосвязь, обеспечивая обмен сообщениями между адаптерами. Компоненты системы взаимодействуют через общий интерфейс. При этом о существовании друг друга они ничего не знают. Брокер позволяет равномерно распределить информацию, чем обеспечивает экономию ресурсов. Он может накапливать сообщения, что с учетом независимости компонентов друг от друга обеспечивает надежность очередей и амортизацию недостатков вычислительных возможностей системы.

Консоль администрирования — главный инструмент пользователя. Он позволяет редактировать модель интеграции и отслеживать работу системы. Для инициализации адаптеров в базе данных консоли, а также приема сообщений журналов от адаптеров функционирует специальная служба.

При использовании "Галактики ESB" источниками и получателями сообщений являются адаптеры информационных систем, а передаваемые сообщения представляют собой объекты справочников, документы, данные бизнес-процессов. Топология очередей формируется автоматически на основании модели интеграции.

Применение RabbitMQ дает возможность решить следующие проблемы.

- Независимость компонентов системы друг от друга. Благодаря использованию очереди компоненты взаимодействуют через общий интерфейс, но ничего не знают о существовании друг друга.
- Экономия ресурсов достигается вследствие возможности разумно распределять информацию, поступающую в очередь от одних процессов, между другими процессами, осуществляющими её обработку.
- Нет необходимости промежуточного хранения необработанных данных.
- Надежность очередей достигается благодаря возможности накапливать сообщения.
- Очередь может аккомодировать сбои отдельных компонентов, осуществляя доставку "опоздавших" сообщений после восстановления.

Возможные недостатки и пути их устранения

Асинхронная передача сообщений, являясь существенным преимуществом, ускоряющим передачу данных, одновременно оказывается недостатком при требованиях сохранения ссылочной целостности передаваемых данных. Эк-

земпляры сущностей со ссылочными типами атрибутов могут быть не приняты системой-приёмником, если предварительно не передан экземпляр сущности, на которую этот атрибут ссылается. Асинхронная передача не гарантирует порядок доставки, т. к. данные вычитываются и доставляются разными потоками. Для решения этой проблемы выработан методологический подход, который предусматривает при создании модели интеграции описание основной сущности и сущностей, на которые она ссылается, как единого пакета. В этом случае при передаче основной сущности осуществляется упаковка в одно сообщение всех входящих в нее ссылочных сущностей с полным набором атрибутов, необходимых системам-приёмникам для сохранения ссылочной целостности и корректной передачи основной сущности.

Опыт внедрения

"Галактика ESB" характеризуется успешным опытом внедрения на следующие предприятия и решением общих задач:

- Конструкторское бюро приборостроения им. А. Г. Шипунова (промышленная эксплуатация), НИР — "Синхронизация нормативно-справочной информации и обмен документами в рамках интегрируемых систем". Интеграция систем "Галактика АММ", "Галактика ERP", "Галактика ЕАМ" с системами заказчика 1С:УПП, 1С:WMS, Флагман, Босс-кадровик, Интермех для учета складской логистики, производственной логистики, технологической оснастки, станочного оборудования и передачи информации для целей бухгалтерского учета. Эффективное снижение трудозатрат пользователей при оформлении документов. Исключение ошибок при оформлении документов. Сокращение времени на запуск изделия в производство (в части обеспечения покупными материалами и комплектующими);

- НПО "Энергомаш" (внедрение). "Галактика ESB" обеспечивает концентрацию обмена сообщениями между различными системами через единую точку, в которой обеспечиваются транзакционный контроль, преобразование данных, сохранность сообщений. Эффективное снижение трудозатрат пользователей на оформление документов. Исключение ошибок при оформлении документов. Сокращение времени на запуск изделия в производство (в части обеспечения покупными материалами и комплектующими);

- Холдинговая компания "Аскона" (синхронизация справочников интегрируемых систем). Передача информации о движении товарно-материальных ценностей. Подготовка отчетности по складскому учету. Передача в ERP-систему данных о движении товарно-материальных ценностей по складу для ведения бухгалтерского учета и расчета заработной платы. Интеграция системы "Галактика ERP" с

системой заказчика 1С: WMS для учета складской логистики. Эффективное снижение затрат пользователей на оформление документов. Сокращение времени и исключение ошибок при оформлении документов [1].

Заключение

Высокоскоростная асинхронная шина ESB и программный продукт "Галактика ESB" в процессе внедрения на ряде предприятий продемонстрировали высокую надежность и устойчивость к сбоям за счет использования очередей с гарантированной доставкой. Быстрой интеграции ИС способствует модульная архитектура продукта "Галактика ESB". Авторами проанализирован недостаток платформы (отсутствие гарантии порядка доставки сообщений) и предложен методологический подход, который предусматривает описание основной сущности и сущностей, на которые она ссылается, как единого пакета, что позволяет нивелировать данный недостаток системы. Предложение авторов

позволяет актуализировать использование шины ESB и программного продукта "Галактика ESB" для построения единого информационного пространства из разнородных информационных систем предприятий.

Литература

1. Корпорация Галактика: Галактика ESB [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://galaktika.ru/esb>
2. Указ Президента Российской Федерации от 09.05.2017 № 203 "О стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы" [Электронный ресурс]. URL: <http://kremlin.ru/acts/bank/41919> (дата обращения: 09.05.2017).
3. Распоряжение Правительства РФ от 28 июля 2017 г. № 1632-р "Цифровая экономика Российской Федерации" [Электронный ресурс]. URL: <http://static.government.ru/media/files/9gFM4FHj4PsB79I5v7yLVuPgu4bvR7M0.pdf> (дата обращения: 28.07.2017).
4. Указ Президента РФ от 7 мая 2018 г. "О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года" [Электронный ресурс]. URL: <http://kremlin.ru/events/president/news/57425> (дата обращения: 07.05.2018).

OPTIMIZATION OF INFORMATION PROCESSES IN THE ENTERPRISE. "ESB INTEGRATION BUS"

E. E. Shabanov

JSC NPO Energomash named after academician V. P. Glushko, Khimki, Moscow region, Russia

I. I. Fakhrislamov, P. N. Chekulaev

JSC Galaktika Center, Moscow, Russia

The article discusses the possibility of combining an enterprise's IS into a single information space based on the use of a centralized and unified event-driven messaging between various ISs based on the Enterprise Service Bus (ESB) — Enterprise Service Bus. The ESB is implemented on the principles of service-oriented architecture. The characteristics and experience of implementation of the Galaktika ESB software product at a number of enterprises are considered.

Keywords: digital economy, information systems, research work, enterprise service bus, service-oriented architecture, integration, data bus, data exchange.

Шабанов Евгений Эдуардович, инженер-конструктор.

E-mail: tron1100@mail.ru

Фахрисламов Ильшат Ирекович, руководитель отдела интеграционных решений.

E-mail: fakhrislamov@galaktika.ru.

Чекулаев Павел Николаевич, руководитель проекта.

E-mail: chekulaev@galaktika.ru

Статья поступила в редакцию 24 ноября 2020 г.

МОДЕЛИ СТРУКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Р. В. Шубин; Г. И. Прокофьев, д-р техн. наук

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»,
Санкт-Петербург, Россия

Рассмотрены понятие и особенности структуры информационных технологий (ИТ-структуры), обеспечивающих систему деятельности научно-производственных организаций РФ. Предложена методика синтеза моделей ИТ, включающая в себя методы структурного анализа сложных систем, оценки процессов и лучшие практики проектирования ИТ-инфраструктуры. Обосновано применение таких моделей для генерации требований к компонентам ИТ-инфраструктуры, реинжиниринга процессов, улучшения деятельности организаций, обеспечивающих жизненный цикл сложной наукоемкой продукции.

Ключевые слова: научно-производственная организация, структура ИТ, архитектура организации, IDEF0, DFD, синтез сложных систем, функциональное моделирование, диаграммы потоков данных, уровни зрелости процессов.

Отечественные научно-производственные организации (НПО) интенсивно применяют средства информационных технологий (ИТ-средства) для автоматизации и улучшения своей деятельности. ИТ-средства, интерфейсы и связи между ними, технологии и методики их применения, компетенции персонала образуют ИТ-инфраструктуру НПО. В целях улучшения деятельности НПО, достижения и поддержания конкурентоспособности необходимо обеспечить связь сложной организационно-технической системы деятельности НПО с компонентами ИТ-инфраструктуры, обеспечивающей такую деятельность в части трассировки целей, требований и обратных связей.

Требования к ИТ-средствам проистекают из сути автоматизируемых менеджментов и процессов системы деятельности, а также процессов автоматизации (ИТ-процессов). Взаимосвязанные механизмы (классы ИТ-средств), функции и процессы автоматизации, определенные в ходе познания системы деятельности, образуют структуру информационных технологий. Структура ИТ НПО — сложная многосвязная иерархическая система, которую требуется определить для текущего и планируемого уровня развития НПО. При этом, так же как и при моделировании системы деятельности, для познания (моделирования) ИТ-структуры целесообразно применять методы и средства методологии SADT, а также принцип подчиненного управления (регулирования) [1].

Таким образом, на основании описаний (моделей) текущего и целевого состояний системы деятельности усредненного примера НПО требуется разработать модели структур ИТ, обеспечивающих такую деятельность. Модель структуры ИТ определенного (текущего либо целевого, планируемого) состояния системы деятельности должна генерировать требования к компонентам ИТ-инфраструктуры, проектирование которой осуществляется в соответствии с известным сводом методик и лучших практик

[2—4]. Процесс построения ИТ-структуры и генераций требований к ИТ-средствам целесообразно сформулировать в виде методики, представляющей собой совокупность методов и технологий, применимых к рассматриваемому классу организаций.

Исходные положения

В [5] вводится понятие *архитектуры организации*. Ее составляющие определяют:

- структуру организации;
- информацию (данные) и технологии, необходимые для осуществления организацией своей деятельности;
- процессы ответа на вызовы среды — реинжиниринг деятельности.

Одним из "слоев" модели организации является архитектура информационных технологий (ИТ-архитектура) (рис. 1).

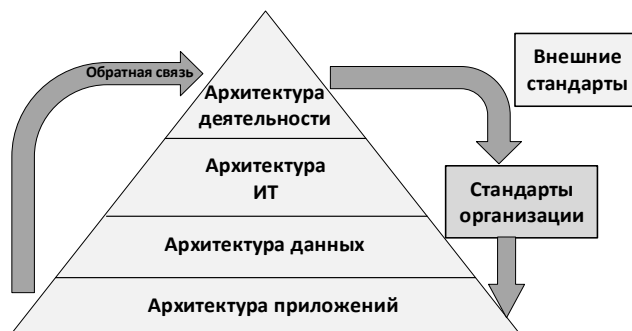


Рис. 1. Архитектура организации

Архитектура ИТ организации (структура функций с определенными параметрами и связями между ними) устанавливает связь между системой деятельности и компонентами ИТ-инфраструктуры. При этом отсутствует обоснованная методика генерации исходной информации для проектирования ИТ-инфраструктуры, дающая описание "верхних" слоев архитектуры

организации. Следовательно, для успешного развития организаций актуальным является создание методики определения и синтеза структур ИТ-функций и ИТ-средств для генерации требований к компонентам их ИТ-инфраструктур.

Рассматривают следующие слои архитектуры организации [5]:

- процессы и потоки данных, обеспечивающие миссию организации;
- модель данных, необходимых для поддержки системы деятельности;
- концептуальную модель (модель процессов);
- ИТ-средства управления данными и информацией, с помощью которых поддерживается деятельность и достигаются цели организации;
- компоненты ИТ-инфраструктуры и модель их взаимодействия.

ИТ-архитектура организации обычно декомпозируется на домены:

- управление приложениями;
- управление данными;
- управление информацией;
- управление пользователями и их ролями;
- сети, коммуникации и платформы;
- управление системами (активами, событиями, изменениями, поддержка);
- информационная безопасность.

Для каждого домена определяют используемые и требуемые ИТ-средства, принципы, цели, лучшие практики, требования, взаимосвязи с другими доменами и областями. Таким образом, можно описать элементы ИТ-инфраструктуры, генерировать требования к ним, сохраняя целостность и единство описания всей связанной с целями системы деятельности архитектуры ИТ.

Используя методологию SADT [6], можно сформировать модель ИТ-архитектуры (ИТ-структуры), обеспечивающую систему деятельности НПО и составляющую большинство "слов" и доменов.

Сложность определения требований к компонентам ИТ-инфраструктуры отечественных НПО для текущего и целевого состояния системы деятельности обусловлена рядом особенностей:

- обширная номенклатура процессов и разветвленная структура рабочих групп специалистов (подразделений), использующих исторически сложившиеся слабо взаимосвязанные и зачастую неактуальные ИТ-средства;
- разнообразие требований к одному и тому же классу ИТ-средств, трудность достижения консенсуса в требованиях;
- высокая динамика изменения требований к продукции в связи с созданием наукоемких изделий единичного и мелкосерийного производства;
- для текущего состояния деятельности ИТ-менеджмент слабо развит и не взаимосвязан с целями организации, отсутствуют ИТ-политика и ИТ-планы, требования к ИТ фрагментарны и не формализованы;

- необходимость учитывать государственное и отраслевое регулирование (нормативные акты, стандарты, регламенты).

Для понимания структуры ИТ НПО, выявления ее слабых мест, обоснования требований к ИТ-средствам и решения указанных проблем необходимо разработать модели ИТ примера НПО на разных уровнях зрелости процессов по [3] и [7]: достигнутом и следующем более высоком уровне (целевом, планируемом).

Модели структуры ИТ НПО

Цель разработки модели ИТ-структуры "как есть" — на основании IDEF0-моделей деятельности структуры ИТ-функций текущего состояния НПО построить понятную структуру взаимосвязанных классов ИТ-средств, автоматизирующих текущую (существующую) систему деятельности. Под классом ИТ-средств будем понимать набор конкретных имеющихся на рынке ИТ-средств (экземпляров класса), выполняющих одни и те же функции. Например, в класс систем ERP входят экземпляры "1С: Предприятие", "SAP", "Baan", "Парус-Предприятие".

Модель должна быть пригодна для выявления и уточнения требований к классам ИТ-средств — компонентам ИТ-инфраструктуры.

Она должна отражать общее и особенное в структуре ИТ деятельности НПО, указывать на общие проблемы автоматизации деятельности организаций такого класса.

Модель должна ответить на следующие вопросы.

Какие классы ИТ-средств используются для автоматизации деятельности? Какова их взаимосвязь и иерархия?

Какие проблемы применения ИТ в деятельности могут быть выявлены по результатам моделирования?

Какие требования предъявляются к классам ИТ-средств при текущей структуре ИТ?

Требуемая степень детальности модели: выявление всех классов ИТ-средств и их взаимосвязей, автоматизирующих деятельность.

Практическое использование модели: выявление проблем в структуре ИТ деятельности в целях последующего ее улучшения, реинжиниринга ИТ-процессов (синтеза модели ИТ "как будет"); определение используемых классов ИТ-средств автоматизации деятельности; генерация требований к ИТ-средствам.

Точка зрения: руководитель ИТ-подразделения.

Контекстная диаграмма A-0 определяет связи структуры ИТ с внешней средой в виде форматов файлов данных.

Задачи, решаемые функцией контекстной диаграммы: автоматизировать, обеспечивать функционирование процессов и работ системы деятельности НПО взаимосвязанными средствами ИТ.

Декомпозиция контекстной диаграммы показана на рис. 2.



Рис. 2. Декомпозиция контекстной диаграммы функциональной модели "как есть" структуры ИТ

При дальнейшей декомпозиции модель ИТ-структуры достигает уровня использования классов ИТ-средств, когда компонентами модели являются ИТ-средства (системы) и связи между ними в виде форматов файлов данных. В связи с этим наиболее удобным и наглядным для понимания является разработка уровней декомпозиции модели на языке методологии графического структурного анализа и проекти-

рования информационных систем DFD (Data Flow Diagrams — диаграммы потоков данных) [8]. DFD-диаграммы легко встраиваются в IDEF0-модели, оперируют информационными системами (в данном случае классами ИТ-средств) и данными — компонентами ИТ-инфраструктуры.

В качестве примера приведены DFD-диаграммы A2 и A22 на рис. 3 и 4 соответственно.

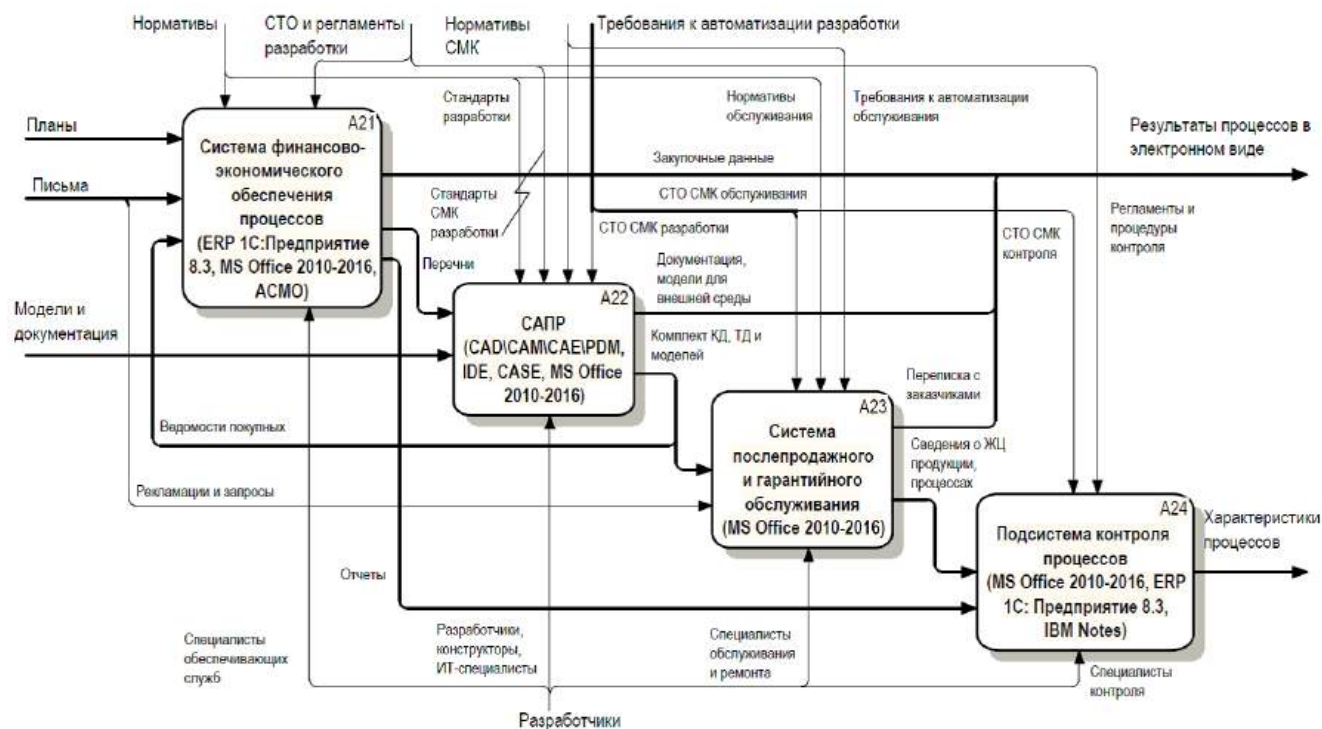


Рис. 3. Декомпозиция функции A2 функциональной модели "как есть" структуры ИТ

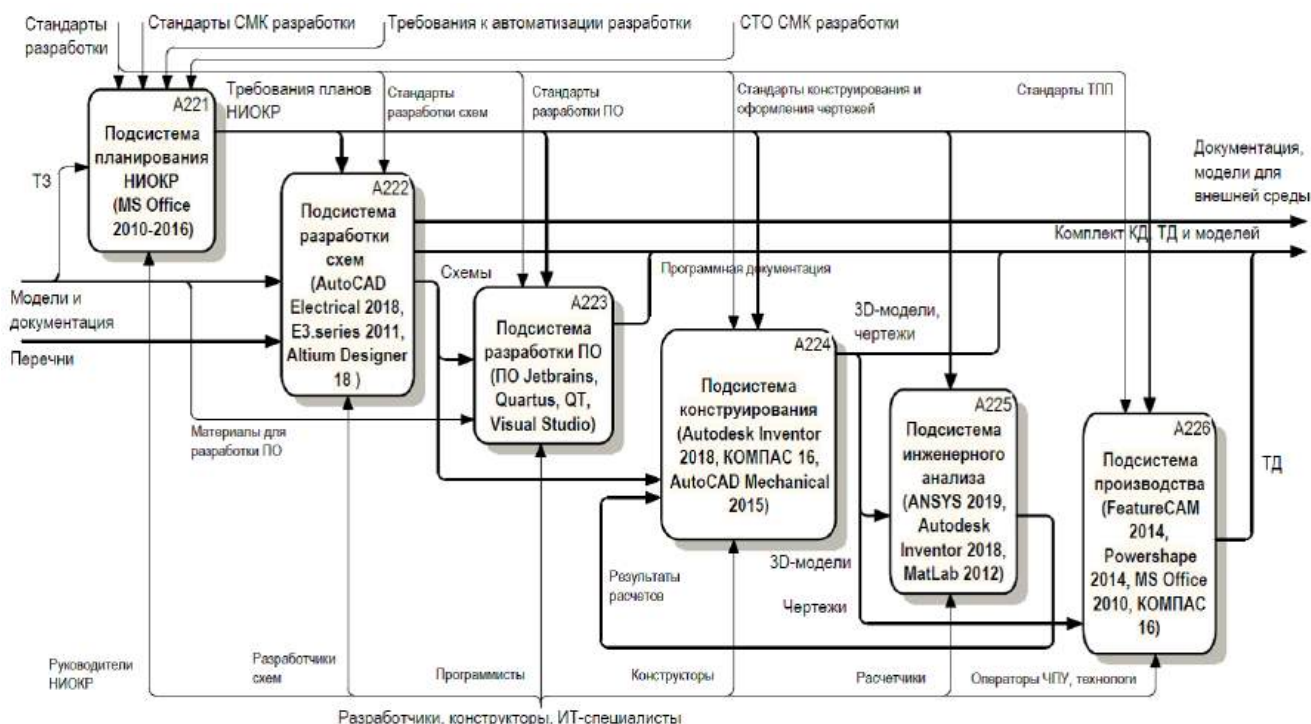


Рис. 4. Декомпозиция системы А22 функциональной модели "как есть" структуры ИТ

По результатам разработки и анализа модели существующей ИТ-структуры должны быть выявлены следующие ее особенности и проблемы:

- ручная обработка данных (несовместимые форматы файлов данных, например между CAD и ERP) в связях между компонентами ИТ-структуры (классы ИТ-средств), увеличивающая трудоемкость обработки и приводящая к ошибкам;
- отсутствие специализированной системы планирования и контроля задач. Разработка, корректировка и отслеживание выполнения планов и задач ведутся вручную средствами MS Office и системы делопроизводства;
- отсутствие единой среды хранения электронных данных разработки: комплектов технологической и конструкторской документации (в том числе электронных документов), моделей, библиотек компонентов, каталогов и т. д. У каждого ИТ-средства отдельное хранилище, что затрудняет обмен данными;
- невозможность обрабатывать направленные извне и генерировать для отправки во внешнюю среду электронные документы в соответствии с ГОСТ 2.051;
- отсутствие системы управления научно-техническим заделом: знаниями, технологиями, типовыми решениями. База знаний и технологий не ведется и критически зависит от отдельных сотрудников;
- фрагментарное сопровождение жизненного цикла (ЖЦ) продукции: отсутствие единой базы претензий и рекламаций, переписки с заказчиками, автоматизированных механизмов монито-

ринга качества продукции — журналы регистрации ведутся вручную;

- отсутствие единого формата и шаблонов текстовых конструкторских документов (КД) (спецификаций, перечней, ведомостей), ручная обработка таких файлов в связях между ИТ-средствами;
- разработка технологической документации без использования специализированных ИТ-средств. Разработка управляющих программ по чертежам вручную, а не по моделям;
- отсутствие единой многопользовательской базы нормативно-справочной информации (НСИ). Актуальность стандартов проверяется разработчиками в основном через открытые источники сети Интернет, что приводит к ошибкам в КД и использованию некорректных версий стандартов;
- отсутствие базы сведений об объектах производственной, испытательной и материальной базы, ручное управление обслуживанием таких объектов;
- большое число ИТ-средств одного класса, а также необходимость работы одних и тех же функций с разными форматами файлов данных одного типа (например, чертежи), что вызывает необходимость использовать обширный пул лицензий дорогостоящего сложного в освоении специализированного ПО.

На основании IDEF\DFD модели ИТ можно сформировать перечень специализированных программных ИТ-средств, обеспечивающих автоматизацию системы деятельности НПО (пример на рис. 5).

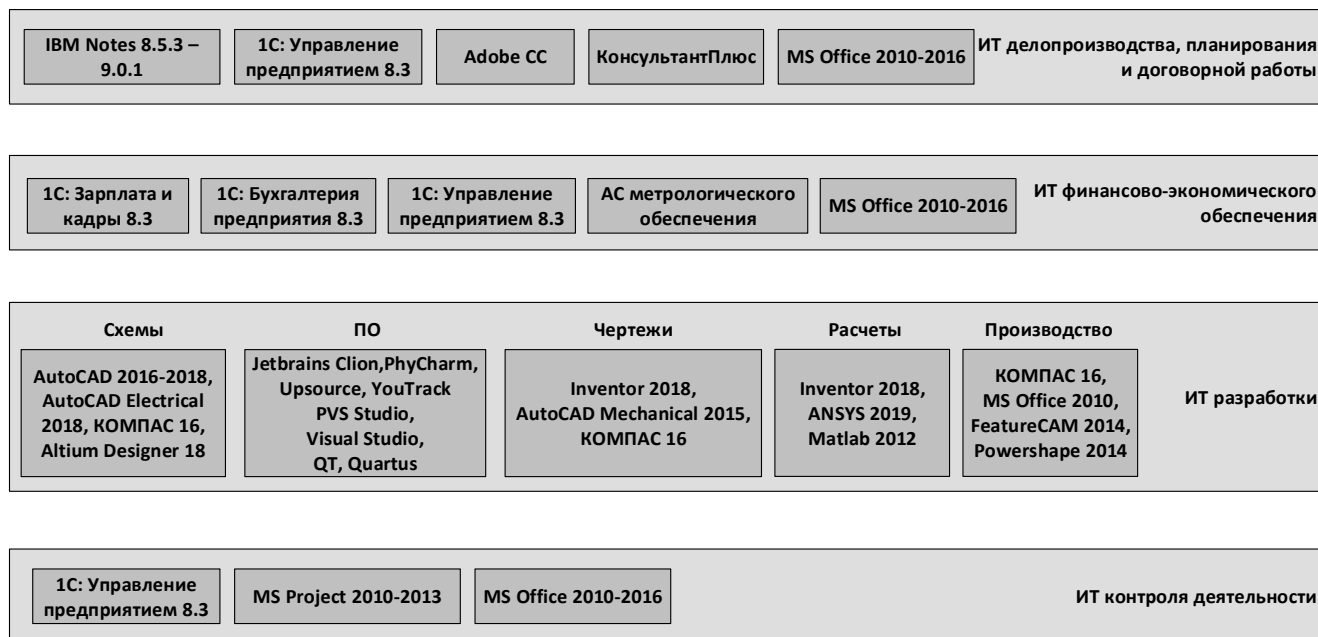


Рис. 5. Перечень используемых программных ИТ-средств автоматизации НПОр

Для решения выявленных проблем существующей ИТ-структуры, а также для обеспечения перспективной системы деятельности НПОр необходимо разработать модель ИТ-структуры "как будет".

Цель разработки модели — на основании анализа системы деятельности и ИТ-процессов построить понятную структуру взаимосвязанных классов ИТ-средств, автоматизирующих перспективную ("как будет") систему деятельности.

Модель должна быть пригодна для выявления и уточнения требований к классам ИТ-средств (компонентам ИТ-инфраструктуры) при переходе на следующий (целевой) уровень зрелости, автоматизации и реинжиниринга процессов. Должны быть определены связи между ИТ-средствами в виде форматов файлов данных.

Модель должна отражать общее и особенное в структуре ИТ деятельности НПОр, указывать на общие проблемы автоматизации деятельности организаций такого класса.

Модель должна ответить на следующие вопросы.

Какие классы ИТ-средств должны быть использованы и внедрены в системе деятельности при переходе на целевой уровень зрелости, реинжиниринге и автоматизации процессов? Какой должна быть их взаимосвязь и иерархия?

Какие особенности структуры ИТ после реинжиниринга могут быть выявлены по результатам моделирования?

Какие требования предъявляются к классам ИТ-средств при перспективной структуре ИТ?

Требуемая степень детальности модели: выявление всех классов ИТ-средств и их взаимосвязей, автоматизирующих деятельность.

Практическое использование модели: определение требуемых классов ИТ-средств, необходимых для перехода на более высокие уровни зрелости; генерация требований к таким ИТ-средствам; определение связей между ними.

Точка зрения: руководитель ИТ-подразделения.

Контекстная диаграмма А0 определяет связи структуры ИТ с внешней средой в виде форматов файлов данных.

Задачи, решаемые функцией контекстной диаграммы: автоматизировать, обеспечивать функционирование процессов и работ успешной (конкурентоспособной) системы деятельности НПОр взаимосвязанными средствами ИТ. Декомпозиция контекстной диаграммы показана на рис. 6. Затемнением выделены новые и измененные по сравнению с моделью "как есть" функции и системы.

DFD-диаграммы А2, А22 и А3 приведены на рис. 7—9.

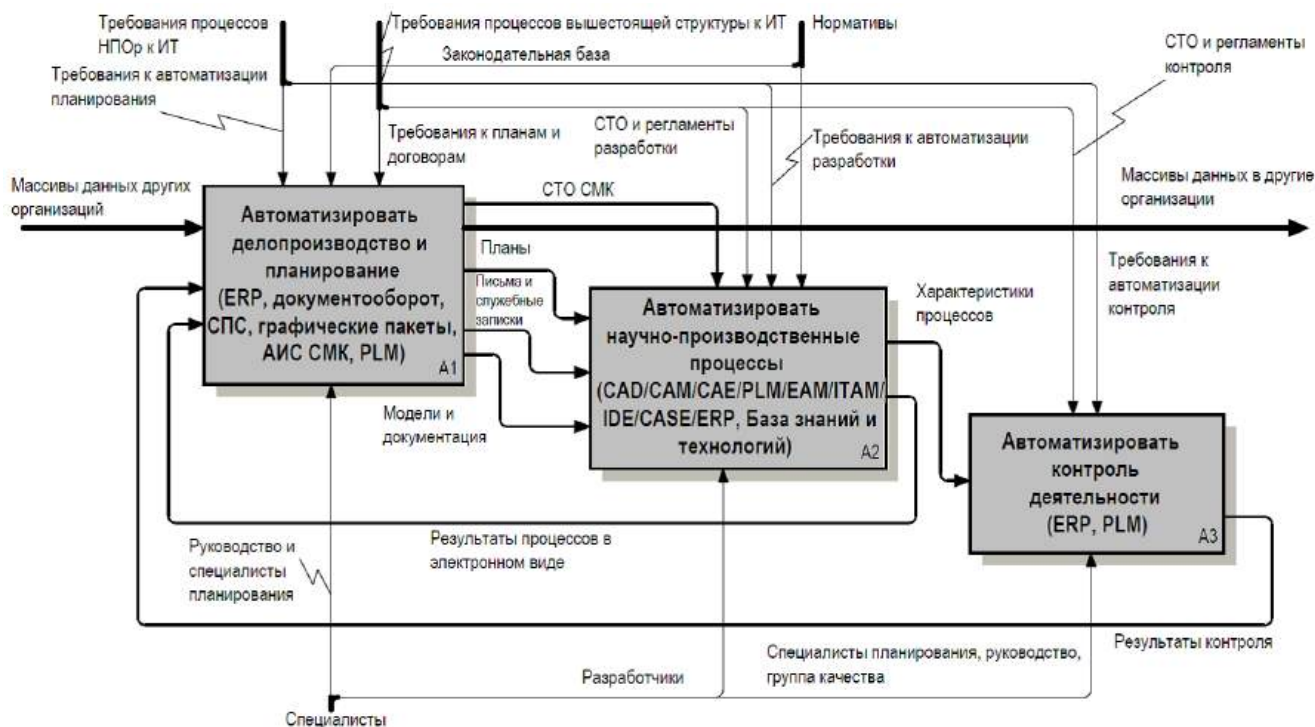


Рис. 6. Декомпозиция контекстной диаграммы функциональной модели "как будет" структуры ИТ

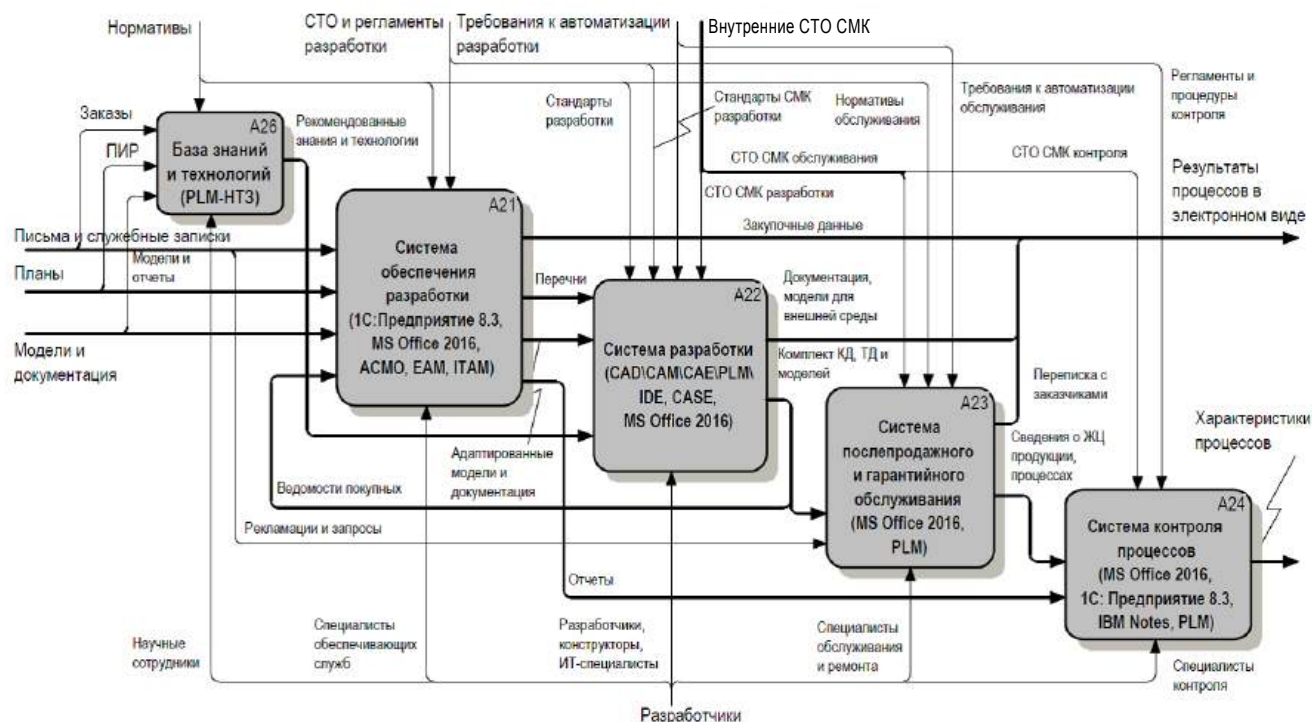


Рис. 7. Декомпозиция функции А2 модели "как будет" структуры ИТ

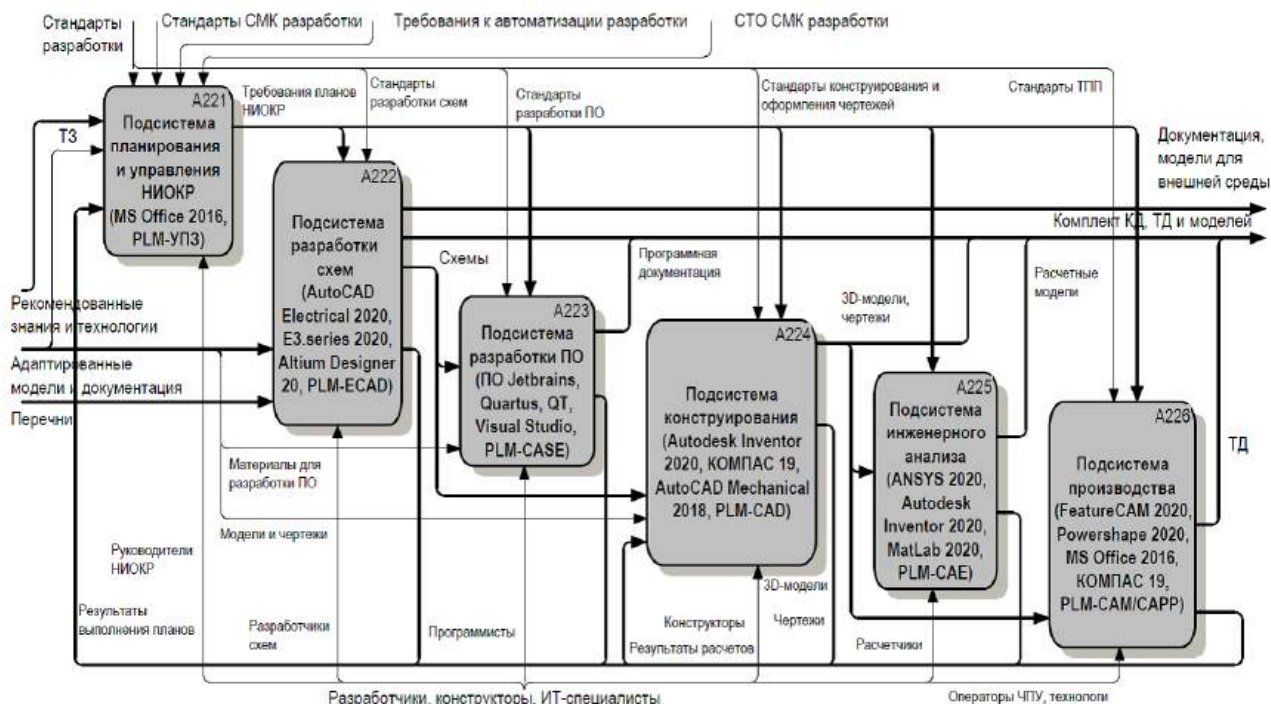


Рис. 8. Декомпозиция системы A22 модели "как будет" структуры ИТ



Рис. 9. Декомпозиция функции A3 модели "как будет" структуры ИТ

Структура ИТ на целевом уровне зрелости процессов деятельности по результатам разработки модели "как будет" содержит следующие улучшения:

- унификация и сокращение количества форматов файлов данных в связях между компонентами ИТ-структуры (ИТ-средств), позволяющие автоматизировать их обработку. Например, обмен данными между ERP- и PLM-системами организован через универсальный формат XML;

- организация процедуры анализа корректности поступающих в систему деятельности организации электронных документов и данных и конвертации их в форматы используемых версий ИТ-средств в целях оптимизации количества требуемых лицензий ИТ-средств;

- внедрение в ИТ-структуру специализированной подсистемы планирования и контроля задач по проектам (НИОКР) на базе PLM-системы в дополнение к механизму контроля

задач и поручений в системе делопроизводства и электронного документооборота. Оперативный контроль выполнения отдельных проектов и портфеля проектов организации с привязкой задач к созданным в PLM-системе электронным документам и данным;

- организация единой структурированной среды хранения электронных данных и электронных документов разработки на базе PLM-системы: комплектов технологической и конструкторской документации, моделей, библиотек компонентов, каталогов и т. д. Реализация технологии коллективной и параллельной разработки в целях повышения конкурентоспособности процессов и продукции. Формирование на базе CAD/CAM/CAE/PLM-систем единого информационного пространства процессов разработки;

- организация работы с электронными документами, электронной структурой изделия, электронным описанием изделия в соответствии с ГОСТ 2.051;

- внедрение базы научно-технического задела организации: знаний, технологий, типовых решений. Хранение и оперативный доступ к результатам интеллектуальной деятельности. Обоснование применения имеющихся в базе технологий и решений при выполнении проектов и участии в конкурсных процедурах;

- автоматизированное сопровождение ЖЦ продукции посредством PLM-системы: база претензий и рекламаций, история переписки с заказчиками, технического обслуживания и ремонта изделий;

- утверждение единого формата файлов и шаблонов текстовых конструкторских документов (спецификаций, перечней, ведомостей), автоматизированная генерация таких документов и автоматическая передача ведомостей в ERP-систему;

- автоматизация разработки технологической документации с использованием специализированного модуля PLM-системы (CAPP). Автоматизированное формирование технологической структуры изделия;

- организация единой многопользовательской базы нормативно-справочной информации (НСИ). Оперативный доступ к актуальным электронным версиям нормативных документов;

- внедрение системы управления активами (включая ИТ-активы) — EAM/ITAM-системы. Организация базы сведений об объектах производственной, испытательной и материальной базы, ИТ-инфраструктуры и услуг, автоматизированного планирования и управления обслуживанием таких объектов;

- внедрение системы контроля деятельности организации: оперативный автоматизированный сбор показателей менеджментов и процессов из PLM/EAM-систем, визуализация результатов, генерация отчетов и выборок. Начальный этап внедрения автоматизированных механизмов системы комплексного управления организацией (переход на следующий, "высокий" уровень зрелости).

Номенклатура специализированных программных ИТ-средств, обеспечивающих улучшенную систему деятельности, приведена на рис. 10.

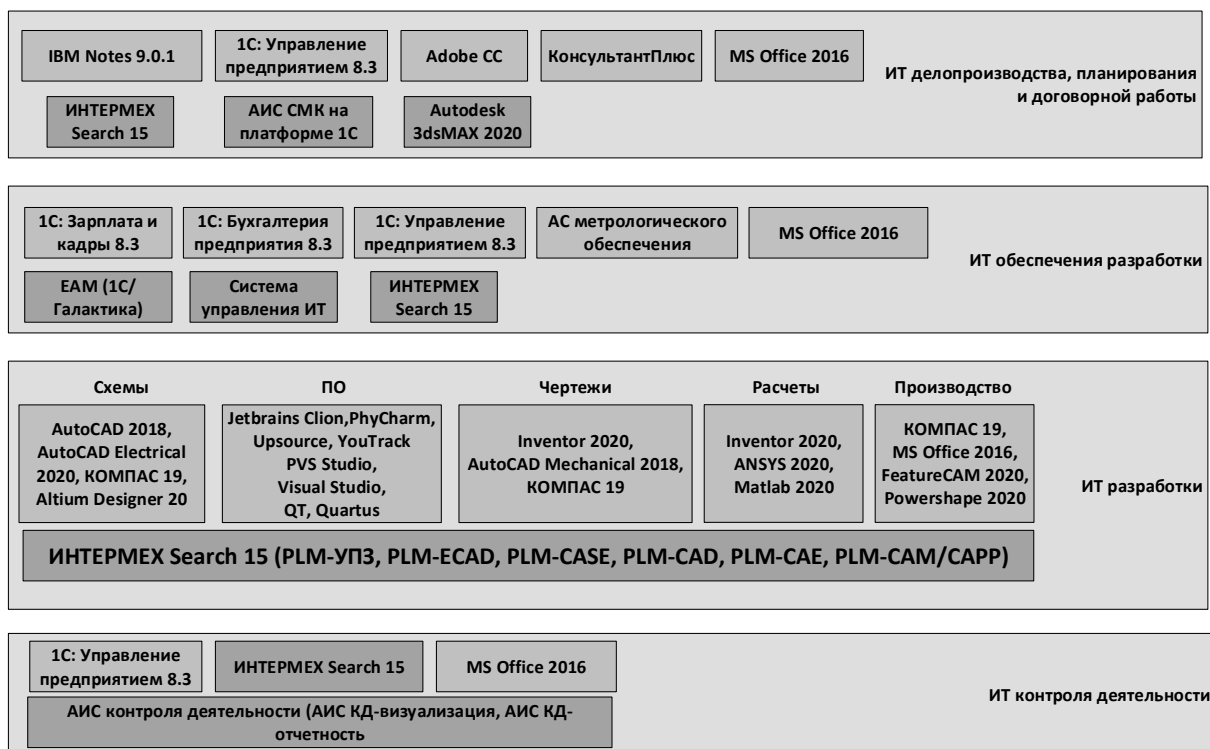


Рис. 10. Перечень используемых программных ИТ-средств автоматизации на целевом уровне зрелости

Выводы

Структура ИТ НПО обеспечивает трассировку целей организации на компоненты ИТ-инфраструктуры.

Методика синтеза моделей ИТ-структуры НПО основывается на IDEF-моделях деятельности и актуальных концепциях ИТ-менеджмента.

Основные этапы методики:

- сформулировать миссию и определить стратегические цели НПО. Определить термины и понятия, декомпозировать цели ИТ, используя методологии ПиК и COBIT [1];
- разработать и проанализировать модель текущего состояния целеориентированной системы деятельности НПО и целевые модели успешной деятельности в рамках методологии SADT и метода IDEF0. Достичь консенсуса при разработке моделей;
- в моделях деятельности выделить автоматизированные функции, процессы и работы, процессы автоматизации. Разработать IDEF/DFD-модели структуры ИТ-процессов и ИТ-средств НПО для текущего и целевого состояний системы деятельности;
- выделить из моделей ИТ используемые классы ИТ-средств, требования к ним, а также форматы файлов данных для каждого состояния деятельности;
- на основании требований разработать номенклатуру взаимосвязанных ИТ-средств,

необходимых для улучшения системы деятельности;

- используя лучшие практики (CALS, ITIL), разработанные модели и систему требований, организовать ИТ-инфраструктуру улучшенной (успешной) системы деятельности НПО.

Результатом применения методики являются требования к компонентам ИТ-инфраструктуры, требования и состав конкретных классов ИТ-средств.

Литература

1. Шубин Р. В. Модели структуры процессов автоматизации деятельности научно-производственной организации // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2020. № 3. С. 66–75.
2. CALS NATO Handbook [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.194.9777&rep=rep1&type=pdf>
3. COBIT 5: Бизнес-модель по руководству и управлению ИТ на предприятии, 2012. — 94 с.
4. Словарь терминов и определений ITIL на русском языке. ITIL® V3 Glossary, v0.92, 30 April 2009.
5. Баронов В. В., Калянов Г. Н., Попов Ю. Н., Тимовский И. Н. Информационные технологии и управление предприятием. — М.: Компания АйТи, 2009. — 328 с.
6. Марка Д. А., МакГоуэн К. SADT-методология структурного анализа и проектирования. — М.: Метатехнология, 1993.
7. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15504-2012 Информационная технология. Оценка процесса.
8. Вендров А. М. В29 Проектирование программного обеспечения экономических информационных систем: учебник. Изд. 2, перераб. и доп. — М.: Финансы и статистика, 2005. — 544 с.

MODELS OF THE STRUCTURE OF AUTOMATION PROCESSES THE ACTIVITIES OF RESEARCH AND PRODUCTION ORGANIZATIONS

R. V. Shubin, G. I. Prokofiev

Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", St. Petersburg, Russia

The concept and features of the structure of information technologies (it structures) that provide the system of activity of scientific and production organizations of the Russian Federation are considered. A method for synthesizing it models is proposed, which includes methods for structural analysis of complex systems, process evaluation, and best practices in it infrastructure design. The use of such models for generating requirements for it infrastructure components, reengineering processes, and improving the performance of organizations that provide the life cycle of complex knowledge-intensive products is justified.

Keywords: research and production organization, it structure, organization architecture, IDEF0, DFD, synthesis of complex systems, functional modeling, data flow diagrams, process maturity levels.

Шубин Роман Валерьевич, аспирант кафедры "Робототехника и автоматизация производственных систем".

E-mail: rvshubin@yandex.ru

Прокофьев Геннадий Иванович, профессор кафедры "Робототехника и автоматизация производственных систем".

E-mail: giprokofiev@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 7 декабря 2020 г.

Правила для авторов по оформлению рукописей статей, предлагаемых к публикации в журналах

Направляя рукопись статьи в редакцию журнала, авторы передают редколлегии и издателю журнала безвозмездное неисключительное право опубликовать ее на русском языке в качестве статьи в печатной и электронной версиях журнала в сети Интернет. При этом за авторами сохраняются их интеллектуальные права на рукопись статьи (в том числе "авторское право"). В связи с этим и с учетом Четвертой части (Раздел VII) Гражданского кодекса РФ авторами должно быть представлено в редакцию письмо в следующей форме:

Лицензионный договор о передаче права на публикацию (издательский лицензионный договор)

Мы, нижеподписавшиеся, авторы рукописи,
предоставляем редколлегии журнала и издателю ФГУП «НТЦ оборонного комплекса
«Компас»

.....
(название журнала)

безвозмездную простую (неисключительную) лицензию на публикацию рукописи статьи как в печатной, так и в электронной версиях журнала.

Мы подтверждаем, что данная публикация не нарушает интеллектуальных прав других лиц или организаций.

Подписи авторов: (ф.и.о., ученая степень, дата)

Статья должна быть подписана всеми авторами. В случае нескольких авторов указывается фамилия автора, ответственного за переписку с редакцией. Рукопись статьи направляется на адрес редакции журнала: 125424, Москва, Волоколамское ш., д. 77, ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас», Редакция журнала.

Дополнительная информация может быть получена в редакции при обращении по телефону: 8 (495) 491-43-17 или по E-mail: izdanie@ntckompas.ru.

Каждая статья рецензируется в соответствии с решением редколлегии журнала. Рецензенты выбираются из числа ученых и специалистов, компетентных в вопросах, рассматриваемых в статье, и имеющих собственные публикации в данном направлении. Решение о порядке публикации статьи принимается редколлгией с учетом мнения рецензентов. В случае разногласий среди членов редколлегии окончательное решение принимает главный редактор. При полном отклонении рукописи статьи от публикации редакция журнала направляет авторам мотивированный отказ. По этому факту редакция не вступает в полемику с авторами.

Комплектование статьи (обзора)

Статья должна быть представлена в редакцию в следующем комплекте:

- сопроводительное письмо, подписанное руководством организации;
- экспертное заключение о возможности опубликования в открытой печати и распространения в

Российской Федерации и других государствах. При отсутствии в организации экспертной комиссии вместо экспертного заключения может быть представлено соответствующее заявление на имя главного редактора журнала от имени руководства организации, где работают авторы. В экспертном заключении или заявлении в обязательном порядке должна быть отражена возможность открытой публикации и передачи публикуемых материалов за границу.

- лицензионный договор по приведенному образцу;
- рукопись статьи — объем статьи (без рисунков) не должен превышать 10 страниц формата А4 при 1,5 межстрочных интервалах, а объем статьи обзорного характера — 20 страниц. Рекомендуемая гарнитура — New Times Roman. Размер шрифта — 12;
- Материал статьи представляется в редакцию в печатном виде (на бумажном носителе) и в электронном варианте на CD/DVD-диске с текстом в формате Word.

Оформление статьи:

- статья начинается с указания УДК;
- название статьи набирается строчными буквами (кроме начальной прописной) полужирным шрифтом, размер шрифта 14, для остального текста используется простой шрифт размером 12, причем рекомендуемая гарнитура шрифта — Times New Roman;

- после названия — список авторов, инициалы авторов предшествуют их фамилиям;
- с отступлением в 2 строки представляется аннотация статьи;
- далее приводится список ключевых слов для данной статьи (не более десяти);
- страницы текста нумеруются без пропусков и добавлений литературных обозначений (типа 1а, 2б и т. п.), причем в сквозную нумерацию должны быть включены все элементы статьи;
- внизу первой страницы текста помещается отдельный абзац (с полужирным шрифтом), содержащий контактную информацию об авторе (или авторах) в следующем виде: фамилия, имя, отчество, должность, ученая степень, почтовый адрес предприятия, телефон, E-mail;
- основной текст статьи должен начинаться с четкой постановкой цели и задач работы, сопровождаемой аргументами в пользу ее выполнения на фоне существующего состояния затронутой в статье проблемы. Дальнейший текст статьи также должен иметь смысловые рубрикаторы (разделы и подразделы) без их нумерации. Заканчиваться статья должна отдельным разделом «Заключение» с перечислением основных результатов, следующих из них выводов и, по возможности, предложений по развитию исследований и использованию их результатов.
- после основного текста — список использованных источников "Литература" (не менее 5 источников); Список использованной литературы должен соответствовать всем ссылкам на внешние источники в тексте статьи. Ссылки оформляются в квадратных скобках, например, [1—6], [7, 8]. Внутренние ссылки, т. е. ссылки на формулы, рисунки и таблицы статьи оформляются с использованием круглых скобок, например, формула (1), уравнение (4), (рис. 3), (табл. 2). Любые ссылки в подписях к рисункам и в самих рисунках не рекомендуются;
- далее размещается подробная англоязычная информация о статье: название статьи, фамилия и инициалы авторов (английская транслитерация), предприятие, аннотация, ключевые слова (Keywords).

Оформление рисунков:

- рисунки и графики вставляются непосредственно в нужном месте в статье и в желаемом масштабе.
- рядом с осями графиков указываются отображаемые физические величины только в символьной (буквенной) форме, а через запятую — размерность величины по-русски (прямым шрифтом). Различные кривые на графиках рекомендуется нумеровать, даже если они характеризуются отдельным цветом или типом линии. Графики представляются только на

белом фоне. Вспомогательные сетки на площади графика не допускаются;

- подписи под соответствующими рисунками (полужирный курсивный) представляются в нужных местах текста. Каждая подпись должна быть по возможности лаконичной, но емкой по содержанию.

Оформление формул:

- простые формулы вводить в текст в формате используемого текстового редактора, более сложные формулы — с использованием редактора формул MathType;
- стандартные математические обозначения (например, \max , \log , \sin , \exp и т. д.) должны быть набраны прямо. То же относится к цифрам и числам;
- для символьного обозначения не векторных физических (технических) величин использовать только латинский и греческий алфавиты, при этом в тексте для греческих букв использовать прямой шрифт, для латинских букв — наклонный шрифт (курсив);
- векторы и матрицы обозначать полужирным прямым шрифтом;
- для нижних и верхних индексов применять арабские цифры, латинские или греческие буквы. Если индекс представляет собой сокращенную форму русского слова — характеристики, то допустимо использовать в его обозначении русские буквы (прямой шрифт), например $U_{\text{вх}}$, $I_{\text{вых}}$, $v_{\text{гр}}$ и т. п.
- размерность физических величин обозначается всегда только по-русски прямым шрифтом.

Оформление таблицы:

- содержание таблицы не должно дублировать данные, приводимые на графиках или в тексте;
- графы должны иметь название без сокращения отдельных слов.

Рисунки, формулы и таблицы должны иметь свою отдельную сквозную нумерацию. Если на конкретную формулу нет дополнительных (возвратных) ссылок в тексте или она в единственном числе, то нумерация ее не нужна. Единственные таблица и/или рисунок также не нумеруются.

При публикации в журнале каждая статья (в контактной информации) сопровождается сноской со знаком охраны авторского права ©, поставленным перед фамилией автора (фамилиями авторов) и годом издания.

Авторы (или автор) каждой статьи после выхода журнала в свет имеют право на получение от редакции электронной версии статьи в PDF-формате (редактор Adobe Acrobat).