

УДК 658.512.4

А. С. СкоробогатовСанкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, e-mail: skorobogatov.andrei@yandex.ru**В. В. Кобзев**Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, e-mail: kobzev_vv@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИТ-АРХИТЕКТУРЫ СИСТЕМЫ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Ключевые слова: экономические модели, предприятия машиностроения, конструкторско-технологическая подготовка производства, цифровые технологии, ИТ-архитектура, рыночная среда, бизнес-процессы, модель Джона Захмана, теория игр.

В статье рассматриваются научные подходы для принятия решений по моделированию ИТ-архитектуры. Тенденции развития науки и техники, связанные с цифровой трансформацией предприятий машиностроения, вносят изменения в бизнес-процессы. На проведение конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП) меняется время протекания, стоимость и сроки. Для повышения конкурентоспособности, машиностроительные предприятия вынуждены постоянно инвестировать средства в развитие и управление ИТ-архитектуры. Одну из ключевых ролей в управлении ИТ-архитектурой, играет сформированная и действующая бизнес – модель конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП) на машиностроительном предприятии. Наличие на машиностроительном предприятии действующих информационных систем (ИС), участвующих в КТПП, требует принятия обоснованных решений при изменении ИТ-архитектуры. Множество интересов различных участников бизнес-процессов, исходя из теории игр, требует нахождения и выбора таких решений, которые бы оптимально устроили всех. Машиностроительным предприятиям, в условиях неопределенности и неполноты информации, важно принятым и реализованным решением предугадать поведение других участников бизнес-процессов. На базе расширенной модели Джона Захмана, авторами предложена многофакторная экономико-математическая модель, позволяющая определить количественные показатели для проведения качественного изменения ИТ-архитектуры предприятия машиностроения. Используя теорию игр, где понятие полезности соотносится с выигрышем коллектива в организационно-экономических задачах и может быть представлено в виде экономического эффекта, в работе проведен комплексный анализ факторов бизнес-модели КТПП, влияющих на управление ИТ-архитектурой машиностроительного предприятия.

А. S. SkorobogatovPeter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg,
e-mail: skorobogatov.andrei@yandex.ru**V. V. Kobzev**Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg,
e-mail: kobzev_vv@mail.ru

MODELING OF THE IT-ARCHITECTURE OF THE SYSTEM OF DESIGN AND TECHNOLOGICAL PREPARATION OF PRODUCTION AT MACHINE-BUILDING ENTERPRISES

Keywords: economic models, machine-building enterprises, design and technological preparation of production, digital technologies, IT-architecture, market environment, business processes, John Zahman model, game theory.

The article discusses scientific approaches for decision-making on modeling IT architecture. Trends in the development of science and technology related to the digital transformation of machine-building enterprises are fundamentally changing business processes, their time, cost, and deadlines for carrying out design and technological preparation of production (DTP). To increase competitiveness, machine-building enterprises are forced to constantly invest in the development and management of IT-architecture. The formed and operating business model of design and technological preparation of production at a machine-

building enterprise play one of the key roles in the management of IT-architecture. The presence of operating information systems participating in the DTP at a machine-building enterprise requires making informed decisions when changing the IT-architecture. The multitude of interests of various participants in business processes, based on game theory, requires finding and choosing solutions that would suit everyone optimally. Machine-building enterprises, in conditions of uncertainty and incompleteness of information, it is important to predict the behavior of other participants in business processes by the decision taken and implemented. Based on the extended model of John Zahman, the authors proposed a multifactorial economic and mathematical model that allows determining quantitative indicators for carrying out qualitative changes in the IT-architecture of a machine-building enterprise. Using game theory, where the concept of utility correlates with the team's gain in organizational and economic tasks and can be represented as an economic effect, a comprehensive analysis of the factors of the DTP business model affecting the management of the IT-architecture of a machine-building enterprise is carried out.

Введение

В условиях регулярной экономической дестабилизации обстановки в мире, конкурентоспособные национальные предприятия машиностроения определяют уровень природно-общественно-хозяйственного развития и являются основой сохранения государственности стран [1]. Конкурентная среда рынка в современных условиях, базируется на цифровых технологиях. Основы построения цифровой среды, были описаны одним из ее основоположников Nicholas Negroponte в труде «Being Digital» [2]. Управление конструкторско-технологической подготовкой производства на предприятиях машиностроения, неразрывно связано с управлением: всеми этапами жизненного цикла изделий; инновациями; сетью поставок; ИТ-архитектурой [3, 4].

ИТ-архитектура современного машиностроительного предприятия включает в себя большое количество ИС, связанных с организацией бизнес-процессов и формированием бизнес-модели конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП) [5-7]. Информационные системы, применяемые при проведении КТПП превысили порог обучаемости, возросли расходы на сопровождение, в связи с этим снизилась экономическая эффективность от их внедрения и применения [8].

Общеметодологические вопросы экономики и управления архитектурой предприятия рассматривались в работах таких зарубежных и российских авторов, как Анри Файоль [9], Карл Вигерс [10], Джон А. Захман [11-13], И.В. Ильин [14-16], Д.В. Кудрявцев [17], Марк Мартейн Ланкхорст [18], Р.А. Сешиюнс [19], Н.А. Поурья [20], А.И. Левина [14-16], К.Г. Скрипкин [21], Г.А. Краюхин [22].

Исследования приведенных авторов посвящены научному решению экономических

проблем, взаимосвязанным с управлением ИТ-архитектурой предприятий. Однако для принятия решений при построении бизнес-модели конструкторско-технологической подготовки производства требуется более детальное изучение методов управления ИТ-архитектурой машиностроительного предприятия.

Цель исследования заключается в разработке научно обоснованной модели ИТ-архитектуры системы КТПП машиностроительного предприятия, обеспечивающей в современных экономических условиях (неопределенности и высокой конкуренции) сквозное проектирование, сокращение времени на подготовку производства, минимизацию затрат и бесшовную интеграцию программных продуктов.

Материалы и методы исследования

В ходе исследования использовались расширенная модель Джона Захмана, которая описывает различные уровни ИТ-архитектуры в разрезе данных, функций, сети, мотивов, людей и времени [11].

Для КТПП ИТ-архитектура представляет три взаимосвязанных уровня:

1. Организационная структура (бизнес-архитектура);
2. Информационная структура (информационная-архитектура);
3. Технологическая структура (технологическая и техническая-архитектура);

Организационная структура представляет из себя систему бизнес-процессов, направленных на проведение КТПП машиностроительным предприятием.

Информационная структура обеспечивает информационную поддержку бизнес-процессов, определяется уровнем цифровизации предприятия и программным обеспечением [23].

Технологическая структура формируется из технических и технологических возможностей производственных площадок, а также средств технологического оснащения и базируются на типах производств. Тип производства определяет виды применяемых технологических процессов (единичные, серийные или массовые).

Выделение трех уровней дает возможность произвести декомпозицию архитектурных моделей для КТПП в соответствии с поставленными задачами. Это позволяет произвести анализ взаимосвязи уровней, выявить «узкие места», повысить управляемость при проведении изменений, понизить сложность ИТ-инфраструктуры, повысить ее прозрачность и гибкость.

Для достижения гармонизации, разделение на уровни позволяет при помощи декомпозиции провести анализ решений, принимаемых на управленческом уровне, по изменению ИТ-архитектуры машиностроительного предприятия.

В общем архитектура предприятия является связующим звеном между потребностями бизнеса и возможностями информационных технологий.

За вектор развития информационных технологий, применяемых в КТПП машиностроительного предприятия, отвечает ИТ-стратегия. ИТ-стратегия показывает, какие информационные системы могут быть внедрены [24, 25].

Распространенные ERP – предназначенные для сбора, распределения, хранения, обработки и применения информации предприятием, частично решают эти задачи. Модуль CRM, интегрированный в ERP систему, позволяет эффективно взаимодействовать с клиентами предприятия и собирать необходимую информацию.

Аналитически ИС, в свою очередь, позволяют обработать собранную информацию и предоставить наилучшее решение. С появлением функционала SCM в сочетании с CRM позволяет оптимизировать внешние связи предприятия. При этом появилось разграничение всей системы на два контура:

1. Внутренний контур ERP или back-office;

2. Внешний контур ERP или front-office;

Что было воплощено во втором поколении ERP II.

Для определения экономического эффекта от внедрения ИС ИТ-архитектуры использовался функционал теории игр.

Результаты исследования и их обсуждение

Существующие рамочные модели формирования ИТ-архитектуры предприятия являются теоретическими и сложными в применении на практике [26, 27], примером является матрица Дж. Захмана. Применение матрицы Захмана позволяет получить детальное представление с различных точек зрения от разных участников процесса.

С применением архитектурного подхода предложенного Дж. Захманом [12, 13] появилась возможность системно оптимизировать ИТ-архитектуру предприятия и ИС-задействованные в КТПП. Взятая за основу стандартизированная рамочная расширенная модель Захмана является шаблоном, который может быть использован при разработках конкретных систем машиностроительного предприятия. Ее особенность в том, что метод построения моделей не определен и не навязываются конкретные инструментальные средства построения. Однако это требует хорошую базу знаний у специалистов (участников группы), которые при помощи расширенной модели комплексно сформируют базу знаний в той области машиностроительного предприятия, в которой она применена [7].

ИТ-архитектура машиностроительного предприятия в части создания КД и ТД при бизнес-процессах КТПП, представленная в виде таблицы.

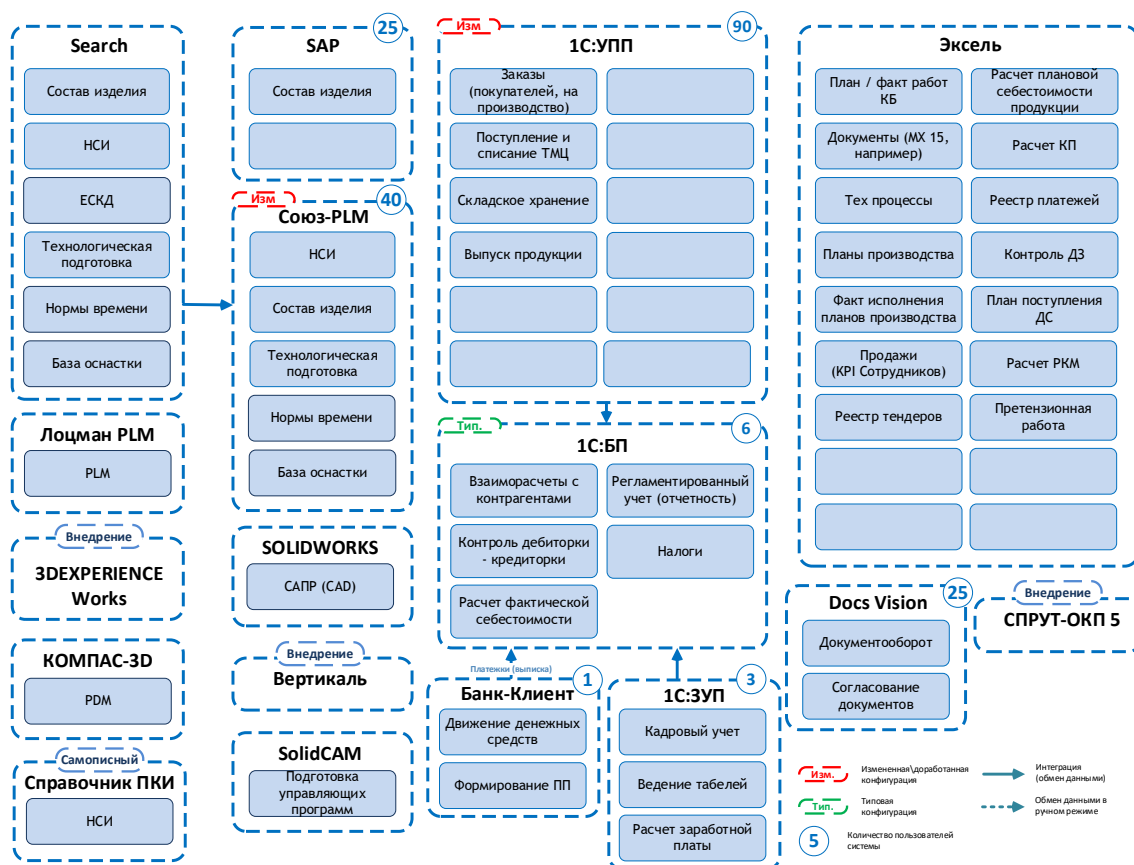
Матрица Захмана позволяет получить детальное представление о бизнес-процессах КТПП машиностроительного предприятия с различных точек зрения и может быть использована при разработке системы КТПП по формированию ИТ-архитектуры группами специалистов.

Проектное управление формируется от потребности бизнеса, и на каждом этапе свою работу проводит отдельная группа [28]. Заключительным этапом является выбор решения и принятие его к внедрению.

ИТ-архитектура позволяет формировать на предприятии проекты по типу CRM (управления взаимодействием с клиентами) дающие знания о потребителе, историю взаимоотношений с ним, повышение лояльности. В следствии профессионального управления взаимодействием с клиентами формируется выбор, удовлетворяющий их желания и потребности, с рекомендациями партнерам.

ИТ-архитектура машиностроительного предприятия в части создания КД и ТД при бизнес-процессах КТПШ

	Данные Что?	Функции Как?	Дислокация, Где?	Люди Кто?	Время Когда?	Мотивация Почему?	Сфера действия
Бизнес-руководители	Планирование КД и ТД	Воплощение идеи Передача информации	Территория предприятия	Конструктора и технологи	Начало работ и окончание работ	Изготовление годных изделий Получение при- были Удовлетворение желаний потре- бителя	
	Менеджер	Постановка задачи Контроль выполне- ния	Отчеты в эл. виде по сети	Конструирование Разработка	План выполнения работ	Реализация бизнес-плана предприятия	Модель предприятия
ИТ-менеджеры и разработчики	Архитектор	Удалённого доступа	В программных продуктах	Интуитивно понятная	Мгновенная пере- дача данных	Выполнение требований ГОСТ, ОСТ и ТУ	Модель системы
	Проектировщик	Данные по сортаменту Формы в эл. виде Базовые элементы Таблицы Списки	Интеграция в про- граммные продукты	В разделах по обучению В справочных разделах	Постоянно в про- цессе разработки и конструирования	Интегрированы в систему	Технологиче- ская модель
	Разработчик	Структура данных	Программный код	Сетевая архитек- тура	В требуемый период времени	Внедрение в рабочий процесс машинострои- тельного пред- приятия	Детали реализации
	Данные	Работающие программы	Сеть локальная Сеть Интернет	Работники КТО	Рабочее время	Работающие бизнес стратегии	Работающее предприятие
	Данные	Функции и процессы	Сеть	Люди, организации	Время, расписания	Мотивация	



Текущая архитектура информационных систем исследуемого машиностроительного предприятия

Необходимо помнить, что при изменении ИТ-архитектуры некоторые из критериев оценки будут находиться в противоречии. К примеру: удовлетворение всех желаний потребителя со стоимостью разработки и внедрения продукта; создание максимально наполненной базы данных с ее безопасностью и сложностью в работе. В этом случае, требуется руководствоваться критериями рациональности.

На современных российских машиностроительных предприятиях внедрение и формирование ИТ-архитектуры должно происходить командой с привлечением специалистов самого предприятия. На рисунке представлен пример формирования архитектуры информационных систем исследуемого машиностроительного предприятия «лоскутным» методом, не предусматривающим бесшовную интеграцию процессов, сквозное проектирование и учет затрат.

Основываясь на тезисе о том, что комплексное создание ИТ-архитектуры с бес-

шовной интеграцией процессов более выгодно, чем реинжиниринг действующих информационных систем в процессе эксплуатации, то определение затрат можно представить в виде:

$$S_{IT}^1 = \left(\sum_{i=1}^n S_{ITCi} + \sum_{j=1}^m S_{INj} \right) \times \sum_{f=1}^t K_{SLf}, \quad (1)$$

где S_{IT}^1 – сумма затрат на разработку, внедрение и поддержку ИТ-архитектуры на предприятии машиностроения;

S_{ITCi} – стоимость на внедрение i -ой подсистемы ИТ-архитектуры на предприятии машиностроения;

S_{INj} – стоимость на внедрение j -ой компоненты ИТ-инфраструктуры на предприятии машиностроения;

K_{SLf} – коэффициент сложности создания ИТ-архитектуры на предприятии машиностроения в зависимости от специфики.

Создание ИТ-архитектуры путем реинжиниринга действующей информационной

системы, сформированной при отсутствии комплексного плана по автоматизации в статическом состоянии, будет представлять следующее выражение по определению суммы затрат:

$$s_{IT}^2 = \left(\sum_{i=1}^n S_{ITCi} + \sum_{j=1}^m S_{INj} + \sum_{g=1}^q S_{INTg} \right) \times \sum_{f=1}^t K_{SLf}, \quad (2)$$

где s_{IT}^2 – сумма затрат на разработку, внедрение и поддержку ИТ-архитектуры на предприятии машиностроения с действующей информационной системой;

S_{ITCi} – стоимость на внедрение i -ой подсистемы ИТ-архитектуры на предприятии машиностроения;

S_{INj} – стоимость на внедрение j -ой компоненты ИТ-инфраструктуры на предприятии машиностроения;

S_{INTg} – стоимость на проведение интеграции отдельных программных продуктов, включая рутинные операции по переносу баз данных и смене ИТ-инфраструктуры на предприятии машиностроения;

K_{SLf} – коэффициент сложности создания ИТ-архитектуры на предприятии машиностроения в зависимости от специфики.

Соотношение затрат будет иметь вид:

$$s_{IT}^1 < s_{IT}^2 \quad (3)$$

На стадии первого этапа инвестиционного цикла требуется проведение анализа в части интеграции отдельных компонентов ИТ-архитектуры, участвующих в бизнес-процессах КТПП на машиностроительном предприятии.

Для определения экономического эффекта от внедрения ИС и всей ИТ-архитектуры воспользуемся функционалом теории игр, определим пару (X, y) .

Пусть $X = \{1, 2, \dots, n\}$ – это конечное множество заинтересованных лиц в получении максимального экономического эффекта. Функция y – это размер получаемой полезности. Пусть V_i – это экономические показатели оценки внедрения в i -й группе влияния, $i \in X$.

S_i – это качественные показатели оценки внедрения в i -й группе влияния.

Характеристическая функция определяется экономическим эффектом от внедрения $y(X)$.

$$y(X) = \sum_{i \in X} S_i \times (\Delta V_i + \Delta S_i) - XC \quad (4)$$

$$s_i \in [0, \dots, 1], \quad \sum_{i=1}^n s_i = 1;$$

$$XC = XC_h + XC_k$$

где ΔV_i – эффект от внедрения в i -группе обусловленный экономией на текущих издержках, руб.;

ΔS_i – эффект от внедрения в i -группе, обусловленный повышением качества предоставляемых товаров и услуг, руб.;

XC – общие затраты на внедрение и реализацию, равные сумме капитальных затрат на разработку и внедрение (XC_h) и эксплуатационных затрат (XC_k) на заданном горизонте оценки, руб.;

s_i – индекс (весовой коэффициент) значимости i -й группы (зависит от уровня заинтересованности и степени влияния на принятие решения).

При внедрении ИТ-архитектуры сторонней организацией, в качестве капитальных затрат принимаются расчеты с данной организацией. При оценке эффективности от внедрения также учитываются: сроки разработки; сроки внедрения решения; динамика бизнеса и другие факторы.

Заключение

Теоретический анализ литературы позволяет выделить перспективные направления развития управления ИТ-архитектурой системы конструкторско-технологической подготовки производства на предприятиях машиностроения.

Результаты проведенного исследования отражают анализ функционирования информационной системы предприятия машиностроения на этапе КТПП, вносят вклад в решение задач согласования интересов бизнеса при разработке и модернизации ИТ-архитектуры, позволяют принимать решения о внедрении новой или реинжиниринге ранее сформированной ИТ-архитектуры и информационных систем.

Стоит отметить, что цифровая трансформация экономики страны требует от предприятий машиностроения непрерывного процесса реструктуризации информационных технологий и информационных систем. В процессе изменения цепочек создания стоимости предприятия машиностроения, при верном принятии решений об изменении ИТ и ИС, на этапе конструкторско-технологической подготовки производства обеспечивают для себя конкурентные преимущества.

Библиографический список

1. Величко М.В., Ефимов В.А., Зазнобин В.М. Экономика инновационного развития. Управленческие основы экономической теории: монография. 2-е изд, исправленное и дополненное. М.: Концептуал, 2018. 584 с.
2. Nicholas Negroponte. Being Digital. Paperback, 1995. 249 с.
3. Белякова Г.Я., Фокина Д.А. Цифровая экономика и новые подходы к управлению производственной кооперацией в машиностроении // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2019. № 5-1. С. 24-29.
4. Скоробогатов А.С., Кобзев В.В. КТПП для обеспечения деятельности машиностроительных предприятий в рамках Индустрии 4.0 // Инжиниринг предприятий и управление знаниями (ИП&УЗ-2018): сборник научных трудов XXI-й Российской научной конференции. 26–28 апреля 2018 г. / под науч. ред. Ю.Ф. Тельнова: в 2 т. М.: ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г. В. Плеханова», 2018. С. 119-124.
5. Кобзев В.В., Радаев А.Е., Кривченко А.С. Математическое моделирование производственных систем: монография. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. 239 с.
6. Кобзев В.В., Радаев А.Е. Инструментарий управления высокотехнологичным производством промышленных предприятий на основе имитационного моделирования // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2013. № 6-2 (185). С. 138-144.
7. Скоробогатов А.С. Бизнес-модель гармонизации IT-архитектуры машиностроительного предприятия в области управления конструкторско-технологической подготовкой производства // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Экономика. 2020. № 1. С. 27-36.
8. Радаев А.Е., Кобзев В.В. Система показателей для выбора и реализации управленческих решений в высокотехнологичном производстве предприятия машиностроения // Теория и инструментальный развития инновационной экономики в период глобальной рецессии: коллективная монография; под ред. А.В. Бабкина. СПб.: Изд-во Политехи. ун-та, 2011. С. 681-711.
9. Сулоева С.Б., Гульцева О.Б. Система управления затратами: концептуальные положения // Организатор производства. 2017. Т. 25. № 3. С. 47-58.
10. Wiegers K., Beatty J. Software Requirements (3rd Edition) // Microsoft Press. 2013. 672 с.
11. Годин В.В. Управление информационной системой организации и модель Дж. Захмана // Вестник университета. 2012. № 2. С. 90-95.
12. Zachman J.A. A Framework for Information Systems Architecture // IBM Systems Journal. 1987. Vol. 26. № 3. P. 276-292.
13. Zachman J.A., Sowa J.F. Extending and formalising the framework of information systems architecture // IBM Systems Journal. 1992. Vol. 31. № 3. P. 590-616.
14. Ильин И.В., Лёвина А.И., Антипин А.Р. Моделирование бизнес-архитектуры процессно и проектноориентированного предприятия // Экономика и управление. 2013. № 9 (95). С. 32-38.
15. Ilin I., Levina A., Abran A., Pliashenko O. Measurement of Enterprise Architecture (EA) from an IT perspective: Research gaps and measurement avenues. ACM International Conference Proceeding Series, Part F131936. 2017. С. 232-243.
16. Ilin I., Levina A., Pliashenko O. Enterprise Architecture Analysis for Energy Efficiency of Saint-Petersburg Underground. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2018. Т. 692. С. 1214-1223.
17. Беглер А.М., Кудрявцев Д.В., Гаврилова Т.А. Применение онтологий для интеграции данных эмпирических исследований // Восемнадцатая Национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2020 / Под ред. В.В. Борисова, О.П. Кузнецова. М.: МФТИ, 2020. С. 3-11.
18. Lankhorst M. Enterprise Architecture at Work. Modelling, Communication, Analysis. Berlin, Springer-Verlag, 2013. 338 p.
19. Sessions R. A Comparison of the Top Four Enterprise-Architecture Methodologies. Microsoft Developer Network. 2008. URL: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/bb466232.aspx> (дата обращения: 21.03.2022).
20. Pourya N. A Comparison Enterprise Architecture Implementation Methodologies. International conference on informatics and creative multimedia 2013 (ICICM'13), IEEE. IEEE Xplore. 2013.
21. Агиевич В.А., Гимранов Р.Д., Скрипкин К.Г. Матрица изменений Бринийолфсона как инструмент планирования архитектуры предприятия // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2013. № 9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/matritsa-izmeneniy-brinyolfssona-kak-instrument-planirovaniya-arhitektury-predpriyatiya> (дата обращения: 21.03.2022).
22. Краюхин Г.А., Разумовский В.М., Смирнов Р.В. Моделирование бизнес-процессов как основа цифровизации предприятий // Управление инновационными и инвестиционными процессами и изменениями в условиях цифровой экономики: сборник научных трудов по итогам II международной научно-практиче-

ской конференции / Под ред. Г.А. Краюхина, Г.Л. Багиева. СПб.: Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2019. С. 150-159.

23. Алферьев Д.А., Родионов Д.Г. Место современных информационных компьютерных технологий в управлении инновационной деятельностью промышленных предприятий // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2020. № 9-2. С. 199-203.

24. Baskerville R., Myers M.D. Special issue on action research in information systems: Making IS research relevant to practice: Foreword. Management Information Systems Research Center, University of Minnesota. 2004. Vol. 28. No. 3. P. 329-335.

25. Sebastian R. Changing roles of the clients, architects and contractors through BIM. Engineering, Construction and Architectural Management. 2011. Vol. 18. №. 2. P. 176-187.

26. Plataniotis G., de Kinderen S., Proper H.A. Relating decisions in enterprise architecture using decision design graphs. In Enterprise Distributed Object Computing Conference (EDOC). 17th IEEE International. 2013. P. 139-146.

27. Tucci L. Two IT gurus face off on value of enterprise architecture frameworks. URL: <https://itknowledgeexchange.techtarget.com/total-cio/two-it-gurus-face-off-on-value-of-enterprise-architecture-frameworks> (дата обращения: 22.03.2022).

28. Bourque P., Fairley R.E. Guide to the software engineering body of knowledge (SWEBOK (R)): Version 3.0. IEEE Computer Society Press, 2014. 346 p.