

Построение структуры сетевого предприятия для создания инновационных продуктов

Предметом исследования является формирование структуры сетевого предприятия, рассматриваемой как совокупность взаимодействующих предприятий в сетевой интернет-среде, которая реализует цепочку добавленной ценности. Для построения структуры сетевого предприятия предлагается использовать и поддерживать онтологию сетевого предприятия, концептуально отражающую модели продуктов и связанных производственных и бизнес-процессов на протяжении всего жизненного цикла. При этом в работе делается акцент на реализацию гибких процессов создания инновационных продуктов с помощью интеллектуальных модели-ориентированных технологий.

Цель исследования заключается в построении алгоритма формирования структуры сетевого предприятия, который обеспечивал бы наилучшую реализацию цепочки добавленной ценности при минимальных рисках несоответствия конструкции и производственных процессов ценностным качественным характеристикам и требованиям к инновационному продукту. Построение алгоритма формирования структуры сетевого предприятия предполагает решение задач моделирования структуры инновационного продукта на основе анализа качественных ценностных характеристик и требований к компонентам продукта, процессов его создания, распределения ролей участников предприятия и анализа их способностей.

Методы исследования. В качестве основного метода исследования является метод построения модели «цифровой нити» создания инновационного продукта. Наиболее полно применение этого метода осуществляется в рамках референсной модели архитектуры предприятия для Industrie 4.0 (RAMI). Получаемая концептуальная модель инновационного продукта и связанных производственных и бизнес-процессов реализуется с помощью онтологического подхода. В качестве методов построения структуры сетевого предприятия предлагается применять комбинацию методов развертывания функции качества QFD (Quality Function Deployment) и анализа видов и последствий потенциальных несоответствий FMEA (Failure Mode and Effects Analysis).

Основными результатами исследования являются онтология и алгоритм формирования структуры сетевого предприятия. Отличительной особенностью предлагаемой онтологии сетевого предприятия является четкое разделение ценностных качественных характеристик продукта и требований к его созданию, а также выделение способностей участников предприятий по реализации необходимых процессов. Новизна представленного алгоритма формирования структуры сетевого предприятия заключается в комбинированном применении методов QFD и FMEA, а также в итерационности моделирования структуры инновационного продукта с позиции наилучшей реализации качественных ценностных характеристик и функциональных требований.

Выводы, перспективы. Предложенный алгоритм формирования структуры сетевого предприятия позволяет получать наилучшие решения по критерию оценки наивысшего рейтинга реализации качественных характеристик и требований к компонентам цепочки добавленной ценности и её участникам при условии получения минимальных оценок рисков несоответствия конструкции и процессов создания инновационных продуктов. Разработанные онтология и алгоритм формирования структуры сетевого предприятия имеют практическое значение для создания интеллектуальной системы поддержки принятия инновационных решений для динамического построения сетевых предприятий в Интернет-среде.

Ключевые слова: сетевое предприятие (network enterprise), инновационный продукт (innovative product), цепочка добавленной ценности (value-added chain), цифровая нить (digital thread), предприятие, основанное на модели (model-based enterprise), референсная модель архитектуры предприятия для Industrie 4.0 (RAMI), онтология (ontology), метод развертывания функции качества QFD, метод анализа видов и последствий потенциальных несоответствий FMEA, интеллектуальная система поддержки принятия решений

Yuriy F. Telnov¹, Vasilii M. Trembach², Andrey V. Danilov¹, Elena V. Yaroshenko¹,
Vasilii A. Kazakov¹, Oksana A. Kozlova¹

¹ Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

² Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

Constructing network enterprise structure to create innovative products

The subject of the study is the formation of the structure of a network enterprise, considered as a set of interacting enterprises in a networked Internet environment that implements a value chain. To build the structure of the network enterprise, it is proposed to use and support the ontology of the network enterprise, which conceptually reflects the models of products and related production and business processes throughout the life cycle. At the same time, the focus is on the implementation of flexible processes for creating innovative products using intelligent model-oriented technologies.

The purpose of the study is to build an algorithm for forming the structure of a network enterprise that would ensure the best implementation of the value chain with minimal risks of mismatch of designs and production processes with qualitative value characteristics and requirements for an innovative product. The construction of an algorithm for forming the structure of a network enterprise involves solving the problems of modeling the structure of an innovative product based on an analysis of qualitative value characteristics and requirements for product components, its creation processes,

* Работа выполнена при поддержке РФФИ, гранты № 19-07-01137а, 18-07-00918а

distribution of roles of enterprise participants and analysis of their capabilities.

Methods. As the main research method is the method of constructing a model of "digital thread" of creating an innovative product. The most complete application of this method is carried out as part of the reference model of enterprise architecture for Industrie 4.0 (RAMI). The resulting conceptual model of an innovative product and related production and business processes is implemented using an ontological approach. It is proposed to use a combination of QFD (Quality Function Deployment) methods for deploying the structure of a network enterprise and analyzing the types and consequences of potential FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) inconsistencies.

The main results of the study are ontology and the algorithm for forming the structure of the network enterprise. A distinctive feature of the proposed ontology of the network enterprise is a clear separation of the valuable qualitative characteristics of the product and the requirements for its creation, as well as the allocation of the abilities of participants in enterprises to implement the necessary processes. The novelty of the presented algorithm for the formation of the structure of

a network enterprise lies in the combined application of the QFD and FMEA methods, as well as in the iteration of modeling the structure of an innovative product from the position of the best implementation of quality value characteristics and functional requirements.

Conclusions, prospects. The proposed algorithm for creating the structure of a network enterprise allows you to get the best decisions on the criterion for assessing the highest rating for the implementation of quality characteristics and requirements for the components of the value chain and its participants, provided that minimal risk assessments of the mismatch between the designs and processes of creating innovative products are obtained. The developed ontology and the algorithm for forming the structure of the network enterprise is of practical importance for creating an intelligent system for supporting the adoption of innovative decisions for the dynamic construction of network enterprises in the Internet environment.

Keywords: Network enterprise, Innovative product, Model-Based Enterprise, Reference Architectural Model for Industrie 4.0 (RAMI), Network enterprise ontology, QFD, Quality Function Deployment, FMEA, Failure Mode and Effects Analysis

Введение

Создание инновационных продуктов предполагает формирование оригинальных концептуальных решений, проработку новых технологических и бизнес-процессов для их последующей реализации. В создании инновационных продуктов участвуют как правило множество взаимодействующих субъектов экономической деятельности: исследователей и маркетологов, инженеров-конструкторов и инженеров-технологов, владельцев знаний и провайдеров технологий, поставщиков и подрядчиков, потребителей и инвесторов, государственных органов и общественных организаций. Для организации тесного взаимодействия различных участников инновационных процессов в современных условиях на основе цифровых технологий формируются в интернет-среде гибкие сетевые предприятия под реализацию конкретных проектов [1].

Целью настоящей статьи является построение алгоритма формирования структуры сетевого предприятия, который обеспечил бы наилучшую реализацию ценностного предложения по созданию инновационного продукта при минимальных рисках неверного выбора партнеров по бизнесу.

Построение алгоритма формирования структуры сетевого предприятия предполагает решение задач моделирования структуры инновационного продукта, процессов его создания, выбора и распределения ролей участников сетевого предприятия. При этом должны осуществляться формирование качественных характеристик инновационных продуктов и требований к их компонентам с позиции наилучшей реализации конкурентных преимуществ и способностей реализации с минимальными рисками несоответствия конструкции и технологическим особенностям производства.

В основе образования сетевого предприятия, как правило, лежит структура цепочки добавленной ценности, бизнес-процессы которой распределяются по участникам в соответствии с этапами жизненного цикла и структурой инновационного продукта. В этой связи в статье предлагается использовать гибкие (Agile) и интеллектуальные (Smart) технологии проектирования продукции, бизнес-процессов и архитектуры предприятий, которые позволяют сократить производственный цикл и время вывода на рынок новых, усовершенствованных видов продукции или услуг за счет снижения времени,

необходимого на обработку предложений участников инновационного процесса, их согласования и формирование проектных структур [2,3].

Эффективный обмен информацией между потенциальными и реальными участниками сетевого предприятия на всех стадиях жизненного цикла возможен при условии как можно более раннего определения и вовлечения релевантных характеристикам продукта и производственного процесса заинтересованных сторон, обеспечиваемый построенным итеративно поддерживаемым моделями предприятий (Model-Based Enterprise) [4], используя концепции «цифровых двойников» (Digital Twins) [5] и «цифровой нити» (Digital Thread) [6]. С этой точки зрения в статье предлагается применение подхода к построению структуры сетевого предприятия на основе принципов, представленных в референсной модели архитектуры предприятия для Industrie 4.0 (RAMI) [7], которая наилучшим образом отображает возможности «цифровой нити». Представление многоагентной архитектуры сетевого предприятия по слоям референсной модели RAMI обеспечивает фреймворк моделирования и последующей реализации его компонентов на различных стадиях жизнен-

ного цикла: структуры продуктов, связанных процессов и участников совместной деятельности, которые в дальнейшем отображаются авторами в виде разработанной онтологии сетевого предприятия [22].

Обеспечение командной работы разнообразных категорий заинтересованных сторон на параллельно исполняемых стадиях жизненного цикла продукта, одновременное проектирование продукта и производственной системы предопределяют необходимость применения таких инжиниринговых подходов как ESI (early supplier involvement – раннее вовлечение поставщиков) [8], совместное проектирование SE (concurrent engineering) [9] и SE* (collaborative engineering) [10]. Эти подходы, используя теорию организационного поведения, социальную психологию, теорию социального выбора и принятия решений [11] для организации совместной работы, а также методы анализа цепочек добавленной ценности и теорию издержек, ресурсный анализ [12], методы управления качеством QFD (quality function deployment – развертывание функции качества) [13] и FMEA (Failure Mode and Effects Analysis – анализа видов и последствий потенциальных несоответствий) [14]. В частности, метод QFD позволяют в отдельных случаях добиться существенного (на 50–70%) сокращения времени разработки продукта [15], а метод FMEA в настоящее время применяется не менее, чем в 80% разработок технических изделий и технологий [14]. В этой связи в статье предлагается применение комбинация методов QFD и FMEA для построения алгоритма формирования структуры сетевых предприятий.

Новизна предлагаемого алгоритма формирования структуры сетевого предприятия заключается в итерационном моделировании структуры ин-

новационного продукта с позиции наилучшей реализации качественных характеристик инновационного продукта и функциональных требований к его компонентам, позволяющем сделать инновационный процесс эволюционирующим, многомерным и инновационным, так как в результате формируется не только новый продукт, но и новая производственная система, реализующая цепочку добавленной ценности в форме сетевого предприятия. На основе построенной онтологии и алгоритма формирования структуры сетевого предприятия в перспективе предполагается разработка программного прототипа интеллектуальной системы поддержки принятия инновационных решений.

1. Архитектура сетевого предприятия, обеспечивающая создание инновационных продуктов

В настоящее время предлагаются различные подходы к построению архитектуры современного предприятия. Одним из таких подходов является инициатива германского правительства и промышленности Германии – Industrie 4.0, провозглашающая четвертую промышленную революцию, основной идеей которой является переход к построению промышленного предприятия на базе киберфизических систем (CPS), позволяющих создавать единую цифровую платформу для интеграции всех процессов жизненного цикла создания продукции [17].

В качестве основы архитектуры сетевого предприятия предлагается использовать референсную модель (фреймворк) RAMI 4.0 (Reference Architectural Model for Industrie 4.0) [7]. Этот фреймворк рассматривает архитектуру предприятия в трех измерениях: структура производства (продукция, устройства, рабочие

центры и т.д.), жизненный цикл продукции (разработка, совершенствование, производство и обслуживание изделий) и архитектурные слои предприятия. Такой подход позволяет рассматривать архитектуру предприятия в разрезе отдельных производственных элементов на различных этапах жизненного цикла продукции. Модель архитектуры RAMI 4.0 является многомерной и предполагает в том числе проектирование процессов разработки нового продукта с учетом разных уровней (от бизнес-уровня до уровня физических устройств) и степенью детализации (от продуктов, «вещей» до сетевого предприятия в целом).

Если рассматривать архитектуру предприятия в разрезе процессов ЖЦ создания инновационных продуктов, то с точки зрения предметно-ориентированного проектирования [18], каждая стадия задает разный архитектурный контекст, т.е. структуру процесса, роли участников этих процессов, структуру и семантику обрабатываемой информации, используемые ресурсы и технологии. Поэтому имеет смысл рассматривать архитектуру предприятия на каждой стадии ЖЦ отдельно на основе особенностей контекста этого этапа. При этом объединяющим элементом этих архитектур будет создаваемый инновационный продукт. Для реализации такой интеграции необходимо на всех этапах инновационного процесса поддерживать и развивать модель создаваемого продукта, а в более широком смысле, и всю модель производства этого продукта – т.е. и модель инновационного продукта, и модель процессов его создания.

Собственно, особенностью инновационного процесса, т.е. процесса создания инновационного продукта, является то, что основное внимание здесь уделяется процессам НИО-

КР – по времени, привлекаемым ресурсам, глубине проработки решений. Поэтому, в первую очередь необходимо рассмотреть и построить архитектуру предприятия в разрезе процессов первого этапа ЖЦ продукта – этапа разработки, включающем в себя разработку концепции и конструкции инновационного продукта, а также структуры его производства.

Рассмотрим архитектуру сетевого предприятия по слоям согласно RAMI в разрезе этапа разработки.

Бизнес-слой (Business) включает в себя организационную структуру и бизнес-процессы предприятия. Поэтому прежде всего здесь необходимо определиться с ролями участников процессов. Кроме того, организационной особенностью сетевого предприятия является гибкая распределенная структура участников. Поэтому бизнес-роли должны отображаться в разрезе отдельных предприятий-партнеров по разработке продукта. Таким образом организационная структура сетевого предприятия должна рассматриваться в двух измерениях – роли участников процесса разработки нового изделия и структура сетевого предприятия.

Структура сетевого предприятия формируется непосредственно в процессе разработки продукта и должна соответствовать структуре этого продукта. За основу может быть взята типовая для отрасли структура – например, схема разукрупнения продукции PBS (The Product Brakedown Structure) [16], либо эта структура будет разработана полностью заново – например, на основе анализа требований согласно применению методов QFD и FMEA [13–15]. В целом, процесс формирования организационной структуры и структуры продукта имеет итерационный характер, т.к. в процессе привлечения к раз-

работке новых участников сетевого предприятия могут возникать новые требования со стороны этих участников.

На следующем слое, функциональном (Functional), выделяется структура производства продукта и функции ее элементов (assets). Согласно RAMI к таким элементам относятся производственные ресурсы – устройства, производственные линии и отдельные рабочие места, в том числе и отдельные участники сетевого предприятия, и все предприятие в целом, а также сами продукты, образующие информационно взаимосвязанную систему, называемую «связанный мир». Так как каждый элемент такой производственной системы имеет определенное назначение в рамках создания ценности для клиента, то его функциональность определяется согласно выявленным бизнес-требованиям на вышестоящем слое.

Продукция, производимая участниками сетевого предприятия, как конечный продукт, так и его элементы, определена в бизнес-слое, а функциональность определяется техническими характеристиками этой продукции, согласно QFD. Структура и функциональность производственных ресурсов, необходимых для производства продукции, определяется в соответствии со структурой технологических производственных процессов участников сетевого предприятия. На этапе разработки этот слой может быть только сформирован в виде функциональных моделей для имитации, тестирования и последующей реализации на последующих этапах ЖЦ продукта. В результате должна быть получена модель связанного мира, в виде прототипов или «цифровых двойников».

Так как особенностью реализации производственного предприятия согласно Industrie 4.0 и RAMI, является

интеграция и управление физическими элементами этого предприятия на основе их виртуального представления в связанном мире, т.е. реализация предприятия, основанного на модели (Model-based Enterprise), то в качестве технологии создания такого предприятия можно использовать технологию итерационного прототипного проектирования, а в качестве технологии динамического моделирования использовать многоагентные системы (MAS). Таким образом все элементы производственной системы и их функциональность на этом слое будут представлены взаимодействующими интеллектуальными агентами, а сами физические элементы могут рассматриваться, как «умные» (smart) микросервисы, согласно терминологии Industrie 4.0.

На информационном слое должна быть представлена структура информации, необходимой для деятельности предприятия, или описание контекстов в парадигме предметно-ориентированного проектирования [18]. Это – взаимосвязанная информация о «цифровом двойнике» продукта (модели продукта и значениях его параметров на момент текущего состояния жизненного цикла), о состоянии участников сетевого предприятия и исполняемых процессах. Для сетевого предприятия в этом слое очень важно отразить отношения между участниками предприятия, язык их общения – как для людей, так и для технических элементов системы. Поэтому в качестве механизма построения информационной модели сетевого предприятия предлагается использовать онтологии [19, 20, 21, 22]. Особенно это важно для описания информационных взаимосвязей на этапе разработки изделия, в который вовлечены специалисты различных направлений – владельцы продуктов в тер-

минологии Agile, конструкторы, технологи, маркетологи и т.д., а описание продукта еще не сильно формализовано (нет технической документации) в отличие от последующих этапов. При этом каждый специалист (роль) рассматривает создаваемый продукт в своем контексте.

Коммуникационный слой архитектуры предприятия подразумевает описание использования информации различными участниками сетевого предприятия. Для сетевого предприятия здесь необходимо определить прежде всего сценарии информационного взаимодействия между участниками. Для МАС это могут быть описания на основе стандартных протоколов взаимодействия агентов FIPA [23].

Интеграционный слой отвечает за связь мира физического (Real World) и модельного (Digital World). В соответствии с RAMI здесь необходимо создать для каждого физического объекта предприятия программную управляющую оболочку (administration shell),

которая бы транслировала получаемые от физического объекта данные в понятия созданного связанного мира (connected world) и обратно. Для МАС такой оболочкой естественным образом сможет выступать каждый агент системы, т.е. на этом слое должна быть разработана программная реализация агентов. На стадии концептуальной разработки инновационного продукта в качестве программных агентов будут выступать агенты, отвечающие за разработку функций продукта, и агенты, имитирующие их исполнение.

Самый нижний слой RAMI, физический мир (asset), представляет собой физическую реализацию предприятия. Фактически – это работающее производство. На этапе разработки изделия этот слой может быть представлен различными имитационными моделями или, единичными прототипами продукта или его частей.

Конфигурация структуры конкретного сетевого предприятия на основе использования архитектурной модели RAMI

зависит от особенностей проекта создания инновационного продукта, ресурсных возможностей головного предприятия и наличия партнерской базы для совместной деятельности в рамках сетевого предприятия на текущий момент времени.

2. Онтология сетевого предприятия

Общая структура конфигурации сетевого предприятия определяется его онтологией [22, 24, 25]. В этой связи фрагмент онтологии сетевого предприятия представлен в виде семантической сети (граф с узлами, обозначающими сущности, и дугами, обозначающими отношения между ними, на рис. 1).

Ключевым понятием в рассматриваемой онтологии является сущность ПРОДУКТ, которая имеет ряд особых свойств и отношений, в том числе: *является аналогом (isSimilarTo)*, *является аксессуаром или запасной частью (isAccessoryOrSparePartFor)*, *относится к категории продукта*



Рис. 1. Фрагмент онтологии сетевого предприятия

(*productType*) и др. Производство и поставка ПРОДУКТА на рынок является целью создания сетевого предприятия.

В то же время, в контексте решения задачи формирования структуры сетевого предприятия важно определить структуру (СПЕЦИФИКАЦИЮ) инновационного ПРОДУКТА, включающую p конструктивных элементов $prodcac_c$ ($c = 1, \dots, p$), которыми могут быть применяемое в производстве сырьё, узлы или компоненты, создаваемые в результате выполнения некоторых действий (АКТИВНОСТЕЙ). Множество SUP включает s производителей sup_a , которые производят конкретные изделия или сырьё (компоненты) определенного вида $prodc_d \in prodcac_c$, выполняют работы или оказывают услуги (активности).

Рынок продукции может быть представлен в виде матрицы $PROD$ размерностью $p \times s$, в ячейках которой установлено 1, если производитель sup_a реализует на рынке конструктивные элементы $prodc_d$ категории $prodcac_c$, и 0, если он не производит подобную продукцию.

Ценность инновационного ПРОДУКТА определяется через его КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ. Каждому ПРОДУКТУ соответствует набор VAL из m качественных ценностных характеристик (характеристик) val_a ($a = 1, \dots, m$). Они могут быть унаследованы от некоторой категории ПРОДУКТА, привнесены в качестве инновации или выявлены в ходе исследований потребительских предпочтений, ожиданий и/или требований клиента.

В соответствии с методом Кано [26] выделяют несколько видов характеристик: VAL^M – обязательные характеристики (*must be*), VAL^O – ожидаемые пользователями характеристики (*one dimensional*), VAL^A – привлекающие характеристики (*attractive*), VAL^I – характери-

стики, не имеющие явной зависимости с удовлетворенностью пользователей (*indifferent*). Также выделяют характеристики, имеющие обратную зависимость с удовлетворенностью потребителей (*reverse*) и вызывающие противоречивое (*questionable*) отношение – VAL^{RQ} .

ТРЕБОВАНИЯ к инновационному ПРОДУКТУ входят в набор REQ из n требований req_b ($b = 1, \dots, n$). ТРЕБОВАНИЯ (функциональные и нефункциональные, обязательные REQ^M и необязательные REQ^O) определяют КАЧЕСТВЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ и обуславливают выбор способа производства, технологий, используемых источников информации/знаний, нормативов и инструментов, а также структуру продукта (СПЕЦИФИКАЦИЮ) – BOM , которая включает как обязательные компоненты BOM^M , так и необязательные компоненты BOM^O .

Связи между КАЧЕСТВЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ, ТРЕБОВАНИЯМИ и СПЕЦИФИКАЦИЕЙ могут устанавливаться с использованием метода QFD, на основе описания характеристик [27] и на основе подхода к описанию функциональных и нефункциональных требований на базе онтологии [28]. Так для обеспечения надлежащего качества инновационного продукта предлагается оценивать возможные РИСКИ НЕСООТВЕТСТВИЯ требованиям, связанные с конструктивными элементами инновационного продукта, которые образуют набор $PRODRISK$ из t элементов $prodrisk_e$ ($e = 1, \dots, t$).

АКТОРЫ (клиенты, поставщики, производители, подрядчики и др.) обладают реальными технологиями, знаниями и ресурсами, необходимыми для производства или использования ПРОДУКТА. При этом возможность выполнения АКТОРОМ некоторого вида де-

ятельности (АКТИВНОСТИ) обуславливает возможность создания им некоторых элементов ПРОДУКТА. Множество видов деятельности, связанных с производством соответствующих конструктивных элементов продукта и выполняемых АКТОРАМИ, образуют набор ACT , состоящий из u активностей $activity_f$ ($f = 1, \dots, u$). Структура сетевого предприятия будет определяться множеством АКТОРОВ, производящих элементы ПРОДУКТА и реализующих последовательность АКТИВНОСТЕЙ, которые образуют ЦЕПОЧКУ ДОБАВЛЕННОЙ ЦЕННОСТИ. Надлежащее качество инновационного продукта также зависит от рисков АКТИВНОСТЕЙ в цепочке, которые оцениваются в результате анализа возможных НЕСООТВЕТСТВИЙ процессов, образующих набор $PROCRISK$ из y элементов $procrisk_j$ ($j = 1, \dots, y$).

Подробно процесс формирования структуры сетевого предприятия детально рассматривается в следующем разделе.

3. Процесс формирования структуры сетевого предприятия

Ключевыми факторами формирования структуры сетевого предприятия являются согласование/выравнивание целей, политик и процессов, тесная информационная интеграция и координация действий всех участников цепочки создания добавленной ценности, а также клиентов, внешних поставщиков знаний и технологий. При этом обеспечение их интероперабельности на всех уровнях возможно при условии инжиниринга новой экосистемы сетевого предприятия, объединяющей всех участников и имеющей целью вывод нового продукта на рынок [29] (рис. 2).

Для новой экосистемы необходимо определить цели и

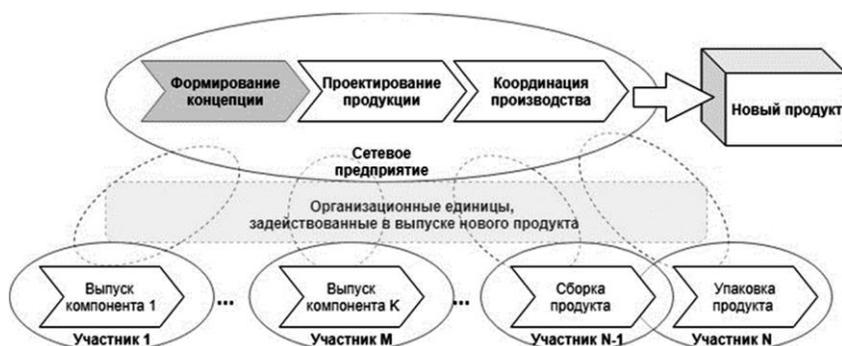


Рис. 2. Структура сетевого предприятия

выделить ключевые процессы (например, проектирование нового продукта и координация производства), определить внутренний и внешний контекст (как структуру, культуру и технологические особенности участников, так и нормы, правила, существующие знания и технологии, окружение в целом), исполнителей и их компетенции, используемые в процессе технологии, инструменты и методы. В зависимости от предметной области (отрасли) определяется какой из участников цепочки в большей степени влияет на качество продукта, кто взаимодействует с потребителем [30].

Наиболее важным с точки зрения качества является процесс формирования концепции на стадии разработки (как продукта, так и производственной системы), включающий сбор и анализ требований релевантных заинтересованных сторон, а также имеющихся знаний об отрасли, рынке. В качестве метода построения структуры сетевого предприятия предлагается использовать комбинацию методов QFD – развертывания функции качества и метода FMEA (Failure Mode and Effects Analysis – анализа видов и последствий потенциальных несоответствий). Применение метода QFD отвечает за формирование требований к компонентам продукции и выбор соответствующих участников сетевого предприятия, реализующих в процессе создания

инновационного продукта эти требования наилучшим образом. С помощью метода FMEA оцениваются риски различных вариантов конфигурации се-

тевых предприятий. Алгоритм формирования структуры сетевого предприятия на основе применения комбинации методов QFD и FMEA представлен на рисунках 3–5.

На первом шаге в результате проведенного SWOT-анализа и имеющихся сведений о рынке продуктов и технологий формулируется (в терминах онтологии) базовое описание продукта в виде набора важнейших качественных характеристик *VAL*. После этого в ходе анализа часть качественных характеристик (*VAL^{RO}*) исключается из первоначального набора. Дополнительно исключается

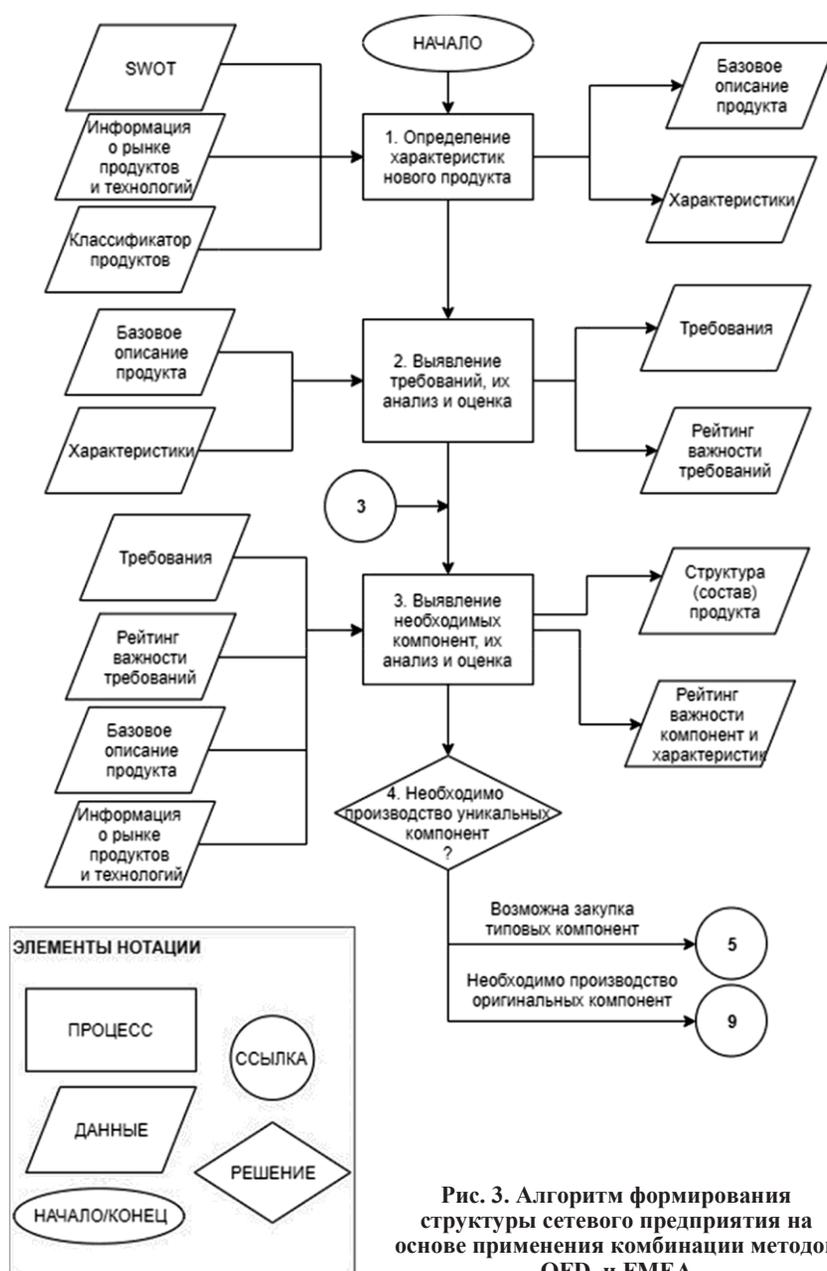


Рис. 3. Алгоритм формирования структуры сетевого предприятия на основе применения комбинации методов QFD и FMEA

из набора часть опциональных характеристик, реализация которых может привести

к значительным издержкам. В результате преобразований получаем набор $VAL \rightarrow VAL^*$.

Для каждой качественной характеристики VAL^* устанавливается приоритет $valrank_a$. Значение приоритета выбирается экспертным путем по шкале от 1 до m , где самой важной характеристике, имеющей наибольший потребительский интерес, присваивается значение m , затем $m-1$ и так далее до 1. Наибольший приоритет будут иметь характеристики из группы VAL^M и VAL^O , затем VAL^A , а характеристики из группы VAL^I – наименьший.

На шаге 2, выявляется набор REQ , включающий функциональные и нефункциональные требования к продукту или услуге, поддерживающие качественные характеристики или обусловленные ими.

Для выявления обязательных требований формируется матрица $QFD^{VAL-REQ}$ размерностью $m \wedge n$. Элементом этой матрицы является степень связанности каждого требования с реализацией качественной характеристики:

$$QFD_{ab}^{VAL-REQ} (a = 1, \dots, m; b = 1, \dots, n)$$

Значение указывается по качественной («нет связи», «слабая связь», «средняя связь», «сильная связь») или соответствующей количественной шкале (0, 1, 3, 9).

Суммарная важность $reqrank_b$ показывает вклад каждого требования для реализации всего набора качественных характеристик и рассчитывается по формуле 1:

$$reqrank_b = \sum_{a=1}^m (valrank_a \times QFD_{ab}^{VAL-REQ}) \quad (1)$$

На основе анализа результатов экспертами определяется пороговое значение $reqrank^{lim}$, которое применяется для формирования групп обязатель-

ных и необязательных требований – REQ^M и REQ^O . Если $reqrank_b > reqrank^{lim}$, $req_y \in REQ^M$, иначе – $req_y \in REQ^O$.

При этом необходимо руководствоваться правилом формирования групп требований, в соответствии с которым всегда необходимо определить хотя бы одно обязательное требование для каждой обязательной или ожидаемой характеристики:

$$\forall val_x \in (VAL^M \cup VAL^O) \exists req_y \in REQ^M : QFD_{xy}^{VAL-REQ} > 0$$

На шаге 3 определяется спецификация создаваемого продукта BOM – множество необходимых конструктивных элементов (компонентов или составляющих, сырья), соответствующих выявленным требованиям. Данная процедура является неформализованной и имеет инновационный характер. При этом, как было указано выше, может быть использована типовая для отрасли схема разукрупнения продукции PBS (product breakdown structure).

Спецификация продукта BOM определяется таким образом, чтобы обеспечить полное соответствие требованиям REQ^M и обеспечить реализацию требований REQ^O с максимальным рейтингом, обеспечивая при этом соответствующий уровень издержек.

Для выявления наиболее значимых конструктивных элементов формируется матрица $QFD^{REQ-BOM}$ размерностью $n \wedge p$. Элементом матрицы является степень связанности каждого элемента с требованием, оцениваемая по количественной шкале (0, 1, 3, 9): $QFD_{bc}^{REQ-BOM} (b = 1, \dots, n; c = 1, \dots, p)$

Суммарная важность $prodrank_c$ показывает вклад каждого конструктивного элемента продукта для реализации набора требований и рассчитывается по формуле 2:

$$prodrank_c = \sum_{b=1}^n (reqrank_b \times QFD_{bc}^{REQ-BOM}) \quad (2)$$

На основе анализа результатов экспертами определяется пороговое значение $prodrank^{lim}$, которое применяется для формирования групп обязательных и необязательных конструктивных элементов – BOM^M и BOM^O . Если $prodrank_y > prodrank^{lim}$, $prodcaty \in BOM^M$, иначе – $prodcaty \in BOM^O$.

При этом необходимо руководствоваться следующим правилом формирования спецификации продукции, в соответствии с которым всегда необходимо определить хотя бы один обязательный элемент для каждого обязательного требования:

$$\forall req_x \in REQ^M \exists prodcaty \in BOM^M : QFD_{xy}^{REQ-BOM} > 0$$

Затем спецификация инновационного продукта BOM уточняется, сокращается число необязательных конструктивных элементов. В результате преобразований получаем набор $BOM \rightarrow BOM^*$.

Отсутствие в спецификации конструктивных элементов, необходимых для удовлетворения некоторых обязательных требований обуславливает либо закрытие и полный пересмотр проекта, либо поиск производителей, способных спроектировать новый вид продукции и произвести ее на заказ.

Для формирования списка потенциальных производителей, с которыми могут быть заключены соглашения, на шаге 4 принимается решение: необходимо оценить риски, связанные с поставкой типовых конструктивных элементов (переход к шагу 5), или возможность их изготовления на заказ (переход к шагу 9).

На шаге 5 в результате анализа открытых источников о рынке готовой продукции (матрица $PROD$) отбираются сы-

рье, узлы и комплектующие в соответствии со спецификацией инновационного продукта **BOM*** и определяется множество производителей **SUP**.

В результате оценки результатов на шаге 6 выявляется отсутствие на рынке готовой продукции конструктивных элементов нужной категории, которое обуславливает поиск производителей, способных произвести данный вид продукции на заказ (переход к шагу 9), либо, необходимость оценки рисков, связанных с использованием существующих на рынке конструктивных элементов (переход к шагу 7).

На шаге 7 проводится оценка рисков несоответствий инновационного продукта, который предполагается производить на сетевом предприятии.

При этом, в ходе анализа возможных причин несоответствия, связанных с узлами продукта, его конструктивными элементами или сырьем:

1) определяется множество возможных несоответствий инновационного продукта из множества **PRODRISK**;

2) оцениваются все возможные проявления (последствия) каждого несоответствия при производстве или использовании итогового продукта;

3) определяются причины каждого несоответствия, связанные с конкретными продуктами – конструктивными элементами $prod_{cd}$;

4) определяются все существующие механизмы контроля, направленные на обнаружение причин каждого из несоответствий.

В ходе анализа определяются значения приоритетов рисков RPN^{PROD} (*risk priority numbers*) конструктивных элементов, которые не должны превышать пограничные значения показателей $RPN^{TP-PROD}$, установленные для соответствующих видов продукции. Показатель RPN^{PROD} рассчитывается для каждого элемента

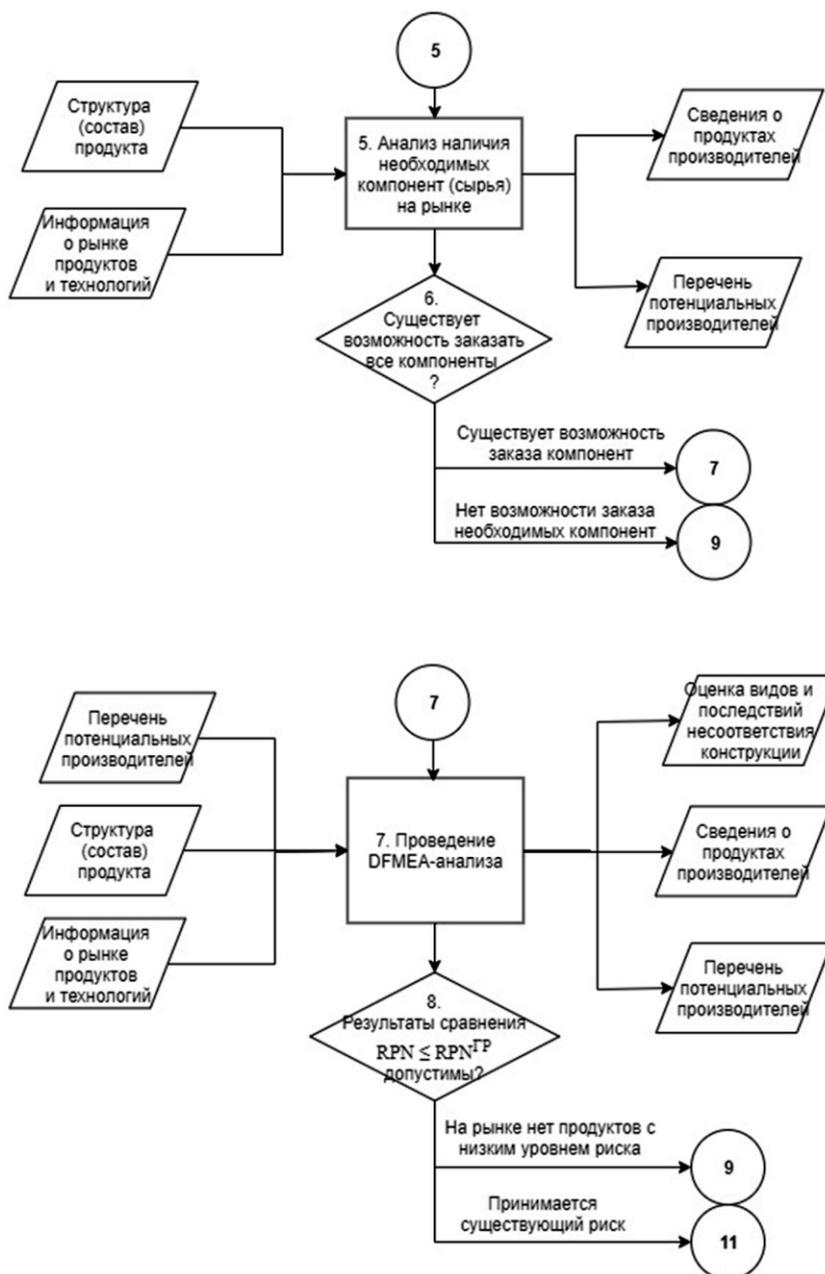


Рис. 4. Алгоритм формирования структуры сетевого предприятия на основе применения комбинации методов QFD и FMEA. Продолжение

множества **PROD** по формуле $RPN^{PROD} = S^{PROD} \times O^{PROD} \times D^{PROD}$, где:

S^{PROD} – Характеристика масштаба последствий в случае возникновения несоответствия в итоговом продукте, оцениваемая по шкале 1...10 (1 – незначительные последствия, 10 – катастрофические последствия);

O^{PROD} – Характеристика вероятности возникновения причины несоответствия, оцениваемая по шкале 1...10 (1 – возникновение маловероятно,

10 – возникновение неизбежно);

D^{PROD} – Характеристика возможности обнаружения причины несоответствия, оцениваемая по шкале 1...10 (1 – существующие механизмы контроля обнаружат причину, 10 – существующие механизмы контроля не обнаружат причину или контроля не существует).

В результате проверки на шаге 8, если все известные продукты некоторой категории имеют значение

$RPN^{PROD} > RPN^{FP-PROD}$, может быть принято решение о принятии повышенного уровня риска для отдельных компонентов или выполнен поиск производителей, способных произвести данный вид продукции на заказ (переход к шагу 9).

В противном случае, для продуктов, имеющих $RPN^{PROD} \leq RPN^{FP-PROD}$ или повышенный риск которых принимается предпринимателем, формируется уточненное множество производителей $SUP \rightarrow SUP^*$. С этими поставщиками могут быть заключены соглашения (переход к шагу 11).

На шаге 9 проводится анализ возможности производства конструктивных элементов на заказ. Для этого формируется набор активностей АСТ, связанных с производством инновационного продукта согласно спецификации, а также работ, не связанных непосредственно с производством (сборка, обработка, наладка, обслуживание и т.п.).

Построение рейтинга видов деятельности позволит определить те из них, которые являются наиболее важными с точки зрения производства инновационного продукта, и сформировать цепочку добавленной ценности с учетом риска выполнения каждого вида деятельности. Для этого формируется матрица $QFD^{BOM-ACT}$ размерностью $p \wedge u$. Элементом данной матрицы является степень влияния некоторой активности на реализацию конструктивного элемента, оцениваемая по количественной шкале (0, 1, 3, 9):

$$QFD_{cf}^{BOM-ACT} (c = 1, \dots, p; f = 1, \dots, u)$$

Суммарная важность $procrank$ показывает общий вклад f каждой активности (вида деятельности) в создание инновационного продукта и рассчитывается по формуле 3:

$$procrank_f = \sum_{c=1}^p (prodrank_c \times QFD_{cf}^{BOM-ACT}) \quad (3)$$

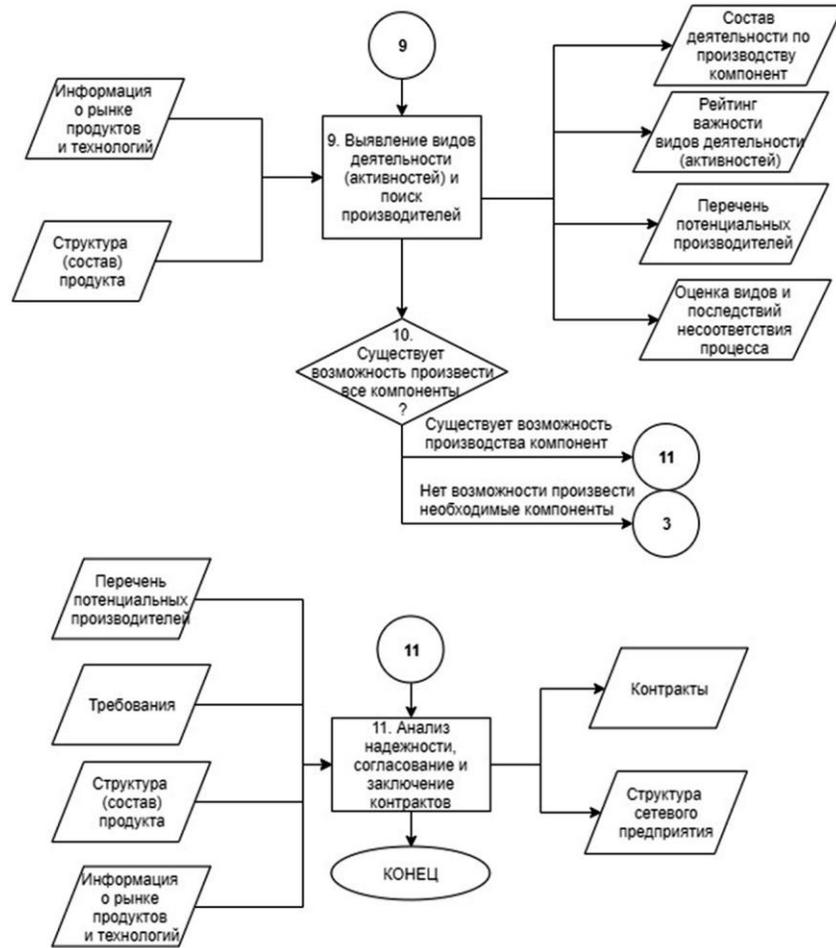


Рис. 5. Алгоритм формирования структуры сетевого предприятия на основе применения комбинации методов QFD и FMEA. Окончание

Для каждого вида деятельности, у которого $procrank_f > 0$, определяются организации, которые выполняют соответствующие работы. Таким образом формируется уточненное множество исполнителей (производителей, подрядчиков) $SUP \rightarrow SUP^*$ и матрица $OPERATIONS$ размерностью $s \wedge u$, элемент $oper_{fd}$ которой показывает способность исполнителя sup_d выполнять активность $activity_f$. Если исполнитель может выполнить деятельность значение $oper_{fd}$ равно 1, иначе – 0. При этом важно, чтобы для каждого из видов деятельности нашелся хотя бы один исполнитель, то есть необходимо руководствоваться следующим правилом формирования цепочки добавленной ценности, в соответствии с которым всегда необходимо определить хотя бы

одну организацию, способную выполнить необходимую деятельность:

$$\forall activity_f \in ACT \exists sup_d \in SUP : oper_{fd} = 1$$

Для оценки рисков, связанных с тем или иным видом деятельности определяется то, какие несоответствия может повлечь за собой их выполнение, которые включаются в множество $PROCRISC$. При этом:

- 1) определяется множество несоответствий инновационного процесса;
- 2) оцениваются все возможные проявления (последствия) каждого несоответствия;
- 3) определяются причины каждого несоответствия, связанные с каждым из видов деятельности $activity_f$;
- 4) определяются все существующие механизмы контроля, направленные на обна-

ружение причин каждого из несоответствий.

В ходе анализа определяются значения приоритетов рисков RPN^{ACT} (*risk priority numbers*) активностей, которые не должны превышать пограничные значения показателей RPN^{TP-ACT} , установленные для соответствующих видов деятельности. Показатель RPN^{ACT} рассчитывается для каждого элемента множества ACT по формуле $RPN^{ACT} = S^{ACT} \wedge O^{ACT} \wedge D^{ACT}$, где:

S^{ACT} – Характеристика масштаба последствий в случае возникновения несоответствия в итоговом продукте, оцениваемая по шкале 1...10 (1 – незначительные последствия, 10 – катастрофические последствия);

O^{ACT} – Характеристика вероятности возникновения причины несоответствия, оцениваемая по шкале 1...10 (1 – возникновение маловероятно, 10 – возникновение неизбежно);

D^{ACT} – Характеристика возможности обнаружения причины несоответствия, оцениваемая по шкале 1...10 (1 – существующие механизмы контроля обнаружат причину, 10 – существующие механизмы контроля не обнаружат причину или контроля не существует).

Если вид деятельности имеет значение $RPN^{ACT} > RPN^{TP-ACT}$ или на рынке не существует организаций, способных выполнить интересующую нас деятельность, может быть принято решение о принятии повышенного уровня риска для отдельных видов деятельности, по которым есть потенциальные производители, о пересмотре структуры продукта BOM или о закрытии проекта по созданию инновационного продукта.

В результате анализа формируется расширенная матрица $PROD \rightarrow PROD^*$: дополнительные строки соответствуют производимым на заказ конструктивным элементам, а (дополнительные) столбцы соответствуют исполнителям,

организациям, которые способны выполнить необходимые для производства этих элементов работы.

После отбора исполнителей $SUP^* \rightarrow SUP^{**}$, способных выполнить деятельность, которая имеет $RPN^{ACT} \leq RPN^{TP-ACT}$ и высокий рейтинг $procrank_f$, могут быть заключены соглашения о выполнении работ, поставке или производстве продукции на заказ (переход к шагу 7).

На шаге 7 формируется цепочка добавленной ценности и заключаются контракты с отобранными производителями. Для этого необходимо оценить каждого из исполнителей с точки зрения финансовой надежности (по открытым финансовым данным), репутации на рынке (по отзывам потребителей) и т.д. Вместе с этим, сам исполнитель в ходе взаимодействия с головной («материнской») организацией может уточнить требования к производимой продукции (компонентах, выполняемой работе) и принять на себя определенные обязательства, либо отказаться от участия в сетевой организации.

Сформированный в результате пакет соглашений $CONTRACT$ содержит сведения о производимой исполнителями продукции, ответственность за выполнение работ, описывает согласованные с исполнителем условия участия в сетевой организации.

Цепочка добавленной ценности VAC включает в себя все работы, которые необходимо выполнить для производства инновационного продукта и которые указаны в соглашениях.

Представленный алгоритм формирования структуры сетевого предприятия позволяет определить структуру цепочки создания ценностей для инновационных продуктов, распределить звенья цепочки между участниками сетевого предприятия и таким образом сформулировать концепцию инновационного проекта

для последующего заключения контрактов между предприятиями на осуществление совместной деятельности. Новизна представленного алгоритма конфигурации структуры сетевого предприятия заключается в комбинированном применении методов QFD и FMEA, а также в итерационности моделирования структуры инновационного продукта с позиции наилучшей реализации качественных характеристик и функциональных требований.

Заключение

Анализ предложенных методов построения структуры сетевого предприятия для создания инновационных продуктов позволяет сделать следующие выводы:

1) Для построения процессов создания инновационной продукции на протяжении всего жизненного цикла проекта наиболее предпочтительной является модели-ориентированная архитектура сетевого предприятия, которая может быть определена с помощью архитектурного фреймворка RAMI, наилучшим образом реализующую концепцию «цифровой нити».

2) Для отображения модели-ориентированной архитектуры сетевого предприятия в интеллектуальной системе поддержки принятия решений необходимо использовать онтологию, в которой определяются ценностные качества продукта и требования к созданию его компонентов, а также способности участников предприятий по реализации необходимых процессов производства и поставок.

3) Для реализации алгоритма формирования структуры сетевого предприятия целесообразно применять комбинацию методов QFD и FMEA, которые обеспечивают наилучший выбор участников струк-

туры сетевого предприятия по критерию оценки достижения наивысшего рейтинга компонентов цепочки создания ценностей при условии получения минимальных оценок рисков несоответствия конструкций и процессов создания инновационных продуктов.

Новизна разработанного алгоритма формирования структуры сетевого предприятия заключается в итерационности моделирования структу-

ры инновационного продукта, позволяющей находить наилучшие проектные решения с позиции реализации конкурентных преимуществ при соблюдении ресурсных ограничений. Данный алгоритм вместе с обеспечивающей онтологией могут служить основой для создания интеллектуальной системы поддержки инновационных решений.

В целях дальнейшего развития предложенных мето-

дов и алгоритма построения структуры сетевого предприятия, осуществляющего проекты создания инновационных продуктов, целесообразно развитие методов и средств многоагентного взаимодействия участников сетевых предприятий, позволяющих адаптировать структуру сетевого предприятия к динамическим изменениям, возникающим на всех этапах жизненного цикла инновационной продукции.

Литература

1. Кастельс М. Становление общества сетевых структур // Новая постиндустриальная волна на Западе. Антология. 1999. С. 494–505.
2. Eden C, Williams T, Ackermann F, Howick S. The role of feedback dynamics in disruption and delay on the nature of disruption and delay (D&D) in major projects // Journal of the Operational Research Society. 2000. Vol. 51. P. 291–300.
3. Pihler R. Agile Product Management with Scrum: Creating Products that Customers Love (Addison-Wesley Signature Series (Cohn)), Addison-Wesley Professional, 2010.
4. Frechette Simon P. "Model Based Enterprise for Manufacturing," Manufacturing Systems Integration Division, Engineering Laboratory, National Institute of Standards and Technology, March 2010.
5. Global Horizons Final Report: United States Air Force Global Science and Technology Vision – AF/ST TR 13-01, United States Air Force, 2013.
6. Digital Thread for Smart Manufacturing» (2013–2018) [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://www.nist.gov/programs-projects/digital-thread-smart-manufacturing>.
7. Reference Architectural Model Industrie 4.0 (RAMI4.0) – An Introduction. [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/rami40-an-introduction.html>
8. McIvor R., Humphreys P. Early supplier involvement in the design process: lessons from the electronics industry. Omega. 2004. Vol. 32. P. 179–199.
9. Koufteros X., Vonderembse M., Doll W. Concurrent Engineering and Its Consequences // Journal of Operations Management. 2001. Vol. 19. P. 97–115. DOI: 10.1016/S0272-6963(00)00048-6.
10. Willaert S.A., Stephan S.A., de Graaf Rob., Minderhoud Simon. Collaborative engineering: A case study of Concurrent Engineering in a wider context // Journal of Engineering and Technology Management. 1998. Vol. 15. P. 87–109. DOI: 10.1016/S0923-4748(97)00026-X.
11. Lu SC-Y., Elmaraghy W., Schuh G., Wilhelm R. A scientific foundation of collaborative engineering. Ann CIRP. 2007. Vol. 56. No. 2. P. 605–633. DOI: 10.1016/j.cirp.2007.10.010
12. Vanhaverbeke W. The inter-organizational context of open innovation. In: Chesbrough H, Vanhaverbeke W, West J (eds) Open innovation: researching a new paradigm. UK: Oxford University Press. 2006.
13. Вашуков Ю.А., Дмитриев А. Я., Митрошкина Т.А. QFD: Разработка продукции и технологических процессов на основе требований и ожиданий потребителей: методические указания. Самара: Издательство Самарского государственного аэрокосмического университета, 2012. 32 с.
14. Вашуков Ю.А., Дмитриев А.Я., Митрошкина Т.А. Анализ видов, последствий и причин потенциальных несоответствий (FMEA): Методические указания. Самара: Самарский государственный аэрокосмический университет. 2008. 31 с.
15. Trygg L. Concurrent Engineering practices in selected Swedish companies: a movement or an activity of the few // The Journal of Product Innovation Management. 1993. Vol. 10. No. 5. P. 403–416
16. Victor Batovrin, Boris Pozin. Инженерия требований на современном предприятии (Requirements engineering at the modern enterprise)// Актуальные проблемы системной и программной инженерии. Сборник трудов 5-й международной научной конференции. (14–16 ноября 2017 г.). М.: Изд-во НИУ ВШЭ, 2017. 380–387
17. The background to Plattform Industrie 4.0 [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/EN/ThePlatform/Background/background.html>
18. Evans Eric. Domain-Driven Design: Tackling Complexity in the Heart of Software. Addison-Wesley, 2004.
19. Osterwalder A. et al. The Business Model Ontology – a proposition in a design science approach. Thesis PhD. 2004.

20. Uschold M., et al.: The Enterprise Ontology. *The Knowledge Engineer Review*. 1998. Vol. 13. No. 1. P. 31–89.

21. Dietz J.L.G. *Enterprise Ontology – Theory and Methodology*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006.

22. Telnov Yury. *Ontology engineering of network companies // Актуальные проблемы системной и программной инженерии. Сборник трудов 5-й международной научной конференции (14–16 ноября 2017 г.)*. М.: Изд-во НИУ ВШЭ, 2017. С. 22–27.

23. FIPA Interaction Protocol Specifications [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <http://www.fipa.org/repository/ips.php3>

24. Калачихин П.А., Тельнов Ю.Ф. Формирование цепочек создания ценностей в сетевых структурах взаимодействия на основе интеллектуальных технологий // *Сб. трудов XVI Национальной научной конференции по искусственному интеллекту с международным участием КИИ 2018 (24–27 сентября 2018 г., г. Москва, Россия)*. Труды конференции. В 2-х томах. Т. 1. М.: РКП, 2018. С. 106–115.

25. Тельнов Ю.Ф., Казаков В.А. Онтологическое моделирование сетевых взаимодействий

в информационно-образовательном пространстве // *Пятнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2016 (3 – 7 октября 2016 г., г. Смоленск, Россия)*. Труды конференции. В 3-х томах. Т. 1. Смоленск: Универсум, 2016. С. 106–115.

26. Noriaki Kano., Seraku Nobuhiku., Takahashi Fumio., Tsuji Shinichi. Attractive quality and must-be quality // *Journal of the Japanese Society for Quality Control (in Japanese)*. 1984. Vol. 14. No. 2. P. 39–48.

27. Stefan M. Kugele, *Model-Based Development of Software-intensive Automotive Systems*, Dissertation, 2012.

28. Kaiya H, Saeki M. *Ontology-Based Requirements Analysis: Lightweight Semantic Processing Approach*. 2005. P. 223–230. DOI: 10.1109/QSIC.2005.46.

29. Wognum PM, Faber ECC. *Infrastructures for collaboration in virtual organisations*. *Int J Netw Virt Org*. 2002. Vol. 1. No. 1. P. 1–23.

30. Wognum N., Trienekens J. *The System of Concurrent Engineering*. In: J. Stjepandić et al. (eds.), *Concurrent Engineering in the 21st Century*. Chapter 2. DOI: 10.1007/978-3-319-13776-6_2

References

1. Kastel's M. Formation of a society of network structures. *Novaya postindustrial'naya volna na Zapade*. *Antologiya = New post-industrial wave in the West*. Anthology. 1999; S. 494–505.

2. Eden C, Williams T, Ackermann F, Howick S. The role of feedback dynamics in disruption and delay on the nature of disruption and delay (D&D) in major projects // *Journal of the Operational Research Society*. 2000; 51: 291–300.

3. Pihler R. *Agile Product Management with Scrum: Creating Products that Customers Love (Addison-Wesley Signature Series (Cohn))*, Addison-Wesley Professional, 2010.

4. Frechette Simon P. "Model Based Enterprise for Manufacturing," *Manufacturing Systems Integration Division, Engineering Laboratory, National Institute of Standards and Technology*, March 2010.

5. *Global Horizons Final Report: United States Air Force Global Science and Technology Vision – AF/ST TR 13-01*, United States Air Force, 2013.

6. *Digital Thread for Smart Manufacturing» (2013–2018)* [Internet]. Available from: <https://www.nist.gov/programs-projects/digital-thread-smart-manufacturing>.

7. *Reference Architectural Model Industrie 4.0 (RAMI4.0) – An Introduction*. [Internet]. Available from: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/rami40-an-introduction.html>

8. McIvor R., Humphreys P. Early supplier involvement in the design process: lessons from the electronics industry. *Omega*. 2004; 32: 179–199.

9. Koufteros X., Vonderembse M., Doll W. *Concurrent Engineering and Its Consequences // Journal of Operations Management*. 2001; 19: 97–115. DOI: 10.1016/S0272-6963(00)00048-6.

10. Willaert S.A., Stephan S.A., de Graaf Rob., Minderhoud Simon. *Collaborative engineering: A case study of Concurrent Engineering in a wider context // Journal of Engineering and Technology Management*. 1998; 15: 87–109. DOI: 10.1016/S0923-4748(97)00026-X.

11. Lu SC-Y., Elmaraghy W., Schuh G., Wilhelm R. A scientific foundation of collaborative engineering. *Ann CIRP*. 2007; 56; 2: 605–633. DOI: 10.1016/j.cirp.2007.10.010

12. Vanhaverbeke W. *The inter-organizational context of open innovation*. In: Chesbrough H, Vanhaverbeke W, West J (eds) *Open innovation: researching a new paradigm*. UK: Oxford University Press. 2006.

13. Vashukov YU.A., Dmitriyev A. YA., Mitroshkina T.A. *QFD: Razrabotka produktsii i tekhnologicheskikh protsessov na osnove trebovaniy i ozhidaniy potrebiteley: metodicheskiye ukazaniya = QFD: Product and process development based on customer requirements and expectations: guidelines*. Samara: Publishing House of the Samara State Aerospace University; 2012. 32 p.

14. Vashukov YU.A., Dmitriyev A.YA., Mitroshkina T.A. *Analiz vidov, posledstviy i prichin*

potensial'nykh nesootvetstviy (FMEA): Metodicheskiye ukazaniya = Analysis of the types, effects and causes of potential nonconformities (FMEA): Guidelines. Samara: Samara State Aerospace University; 2008. 31 p.

15. Trygg L. Concurrent Engineering practices in selected Swedish companies: a movement or an activity of the few. The Journal of Product Innovation Management. 1993; 10; 5: 403–416.

16. Victor Batovrin, Boris Pozin. Requirements engineering at the modern enterprise // Aktual'nyye problemy sistemnoy i programmnoy inzhenerii. Sbornik trudov 5-y mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii = Actual problems of system and software engineering. Proceedings of the 5th international scientific conference. (November 14–16, 2017). Moscow: HSE Publishing House; 2017: 380–387.

17. The background to Plattform Industrie 4.0 [Internet]. Available from: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/EN/ThePlatform/Background/background.html>

18. Evans Eric. Domain-Driven Design: Tackling Complexity in the Heart of Software. Addison-Wesley, 2004.

19. Osterwalder A. et al. The Business Model Ontology – a proposition in a design science approach. Thesis PhD. 2004.

20. Uschold M., et al.: The Enterprise Ontology. The Knowledge Engineer Review. 1998; 13; 1: 31–89.

21. Dietz J.L.G. Enterprise Ontology – Theory and Methodology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006.

22. Telnov Yury. Ontology engineering of network companies // Aktual'nyye problemy sistemnoy i programmnoy inzhenerii. Sbornik trudov 5-y mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsiyu = Actual problems of system and software engineering. Proceedings of the 5th international scientific conference (November 14–16, 2017). Moscow: HSE Publishing House; 2017: 22–27.

23. FIPA Interaction Protocol Specifications [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <http://www.fipa.org/repository/ips.php3>

24. Kalachikhin P.A., Tel'nov YU.F. The formation of value chains in network structures of interaction based on intelligent technologies. Sb. trudov XVI Natsional'noy nauchnoy konferentsii po iskusstvennomu intellektu s mezhdunarodnym uchastiyem KII 2018 = Sat. Proceedings of the XVI National Scientific Conference on Artificial Intelligence with International Participation KII 2018 (September 24–27, 2018, Moscow, Russia). Conference proceedings. In 2 volumes. T. 1. M: RCP; 2018: 106–115.

25. Tel'nov YU.F., Kazakov V.A. . Ontological modeling of network interactions in the information and educational space. Pyatnadsataya natsional'naya konferentsiya po iskusstvennomu intellektu s mezhdunarodnym uchastiyem KII-2016 = Fifteenth National Conference on Artificial Intelligence with international participation KII-2016 (October 3–7, 2016, Smolensk, Russia). Conference proceedings. In 3 volumes. T 1. Smolensk: Univer-sum; 2016: 106–115.

26. Noriaki Kano., Seraku Nobuhiku., Takahashi Fumio., Tsuji Shinichi. Attractive quality and must-be quality // Journal of the Japanese Society for Quality Control (in Japanese). 1984; 14; 2: 39–48.

27. Stefan M. Kugele, Model-Based Development of Software-intensive Automotive Systems, Dissertation, 2012.

28. Kaiya H, Saeki M. Ontology-Based Requirements Analysis: Lightweight Semantic Processing Approach. 2005. P. 223–230. DOI: 10.1109/QSIC.2005.46.

29. Wognum PM, Faber ECC. Infrastructures for collaboration in virtual organisations. Int J Netw Virt Org. 2002. Vol. 1. No. 1. P. 1–23.

30. Wognum N., Trienekens J. The System of Concurrent Engineering. In: J. Stjepandić et al. (eds.), Concurrent Engineering in the 21st Century. Chapter 2. DOI: 10.1007/978-3-319-13776-6_2

Сведения об авторах

Тельнов Юрий Филиппович

*Д.э.н., профессор
заведующий кафедрой Прикладной информатики
и информационной безопасности
Российский экономический университет
им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия
Эл. почта: Telnov.YUF@rea.ru
Тел.: +7(495)800-12-00 (д. 2063)*

Трембач Василий Михайлович

*К.т.н., доцент, доцент кафедры 304
Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)
«МАИ», Москва, Россия
Эл. почта: trembach@yandex.ru
Тел.: 8 910 402 7104*

Information about the authors

Yuriy F. Telnov

*Dr. Sci. (Economics), Professor, Head of the
Department of applied information technologies and
information security
Plekhanov Russian University of Economics,
Moscow, Russia
E-mail: telnov.yuf@rea.ru
Tel.: +7(495)800-12-00 (ext. 2562)*

Vasiliy M. Trembach

*Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor,
Associate Professor of the Department 304
Moscow Aviation Institute,
Moscow, Russia
E-mail: trembach@yandex.ru
Tel.: 8 910 402 7104*

Данилов Андрей Владимирович

Старший преподаватель кафедры Прикладной информатики и информационной безопасности
Российский экономический университет
им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия
Эл. почта: Danilov.AV@rea.ru
Тел.: +7(495)800-12-00 (д. 2063)

Ярошенко Елена Валерьевна

К.э.н., Доцент кафедры Прикладной информатики и информационной безопасности
Российский экономический университет
им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия
Эл. почта: YAroshenko.EV@rea.ru
Тел.: +7(495)800-12-00 (д. 2063)

Казakov Василий Александрович

К.э.н., ведущий научный сотрудник НИИ
«Стратегические информационные технологии»
Российский экономический университет
им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия
Эл. почта: Kazakov.VA@rea.ru
Тел.: +7(495)800-12-00 (д. 2063)

Козлова Оксана Александровна

Ведущий специалист
Российский экономический университет
им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия
Эл. почта: kaf.piib@rea.ru
Тел.: +7(495)800-12-00 (д. 2063)

Andrey V. Danilov

Senior Lecturer of the Department of Applied Information Technologies and Information Security
Plekhanov Russian University of Economics,
Moscow, Russia
E-mail: danilov.av@rea.ru
Tel.: +7(495)800-12-00 (ext. 2063)

Elena V. Yaroshenko

Cand. Sci. (Economics) Associate Professor of the Department of Applied Information Technologies and Information Security
Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia
E-mail: YAroshenko.EV@rea.ru
Tel.: +7(495)800-12-00 (ext. 2063)

Vasiliy A. Kazakov

Cand. Sci. (Economics), Lead Researcher of the Research Institute «Strategic IT»
Plekhanov Russian University of Economics,
Moscow, Russia
E-mail: kazakov.va@rea.ru
Tel.: +7(495)800-12-00 (ext. 2063)

Oksana A. Kozlova

Lead specialist
Plekhanov Russian University of Economics,
Moscow, Russia
E-mail: kaf.piib@rea.ru
Tel.: +7(495)800-12-00 (ext. 2063)