

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ПРЕДПРИЯТИЙ АДДИТИВНОЙ ОТРАСЛИ

OPTIMIZATION OF PRODUCTION PROCESSES IN ORGANIZATIONAL SYSTEMS OF ENTERPRISES IN THE ADDITIVE INDUSTRY

**A. Petrunina
N. Tsygankov
A. Moskalev**

Summary. The article presents the results of a study of the transformation of traditional organizational systems of enterprises to distributed network structures using the example of the additive industry. The need for organizational changes is due to the challenges that industrial enterprises currently face. The additive manufacturing industry was chosen as the object of research due to its high importance for import substitution purposes, as well as the cross-cutting nature of the technologies that affect other industries. To test the hypothesis put forward, a company from the additive industry was used to model its business processes and simulate processes lasting 30 days. The optimization criterion in this study was the cost of producing one unit of a 3D printer. Analysis of the simulation results showed that including contract manufacturing in the organizational system for creating technological values will allow the company to optimize costs, and, as a result, the cost of a 3D printer, and reduce the production time of one batch. The implementation of the proposed transformations in the company confirmed their effectiveness.

Keywords: distributed network organizational system, sustainability, business process modeling.

Петрунина Анастасия Эдуардовна

старший преподаватель,
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск
akasimova@sfu-kras.ru

Цыганков Никита Сергеевич

кандидат технических наук, доцент,
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск
syganikita@yandex.ru

Москалев Александр Константинович

кандидат физико-математических наук, доцент,
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск
ak_moskalev@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты исследования трансформации традиционных организационных систем предприятий к распределенным сетевым структурам на примере аддитивной отрасли. Необходимость организационных изменений обусловлена теми вызовами, которые в настоящее время стоят перед промышленными предприятиями. Отрасль аддитивных технологий выбрана в качестве объекта исследований в связи с высокой значимостью для целей импортозамещения, а также сквозным характером технологий, оказывающих влияние на другие отрасли промышленности. Для проверки выдвинутой гипотезы на примере компании из аддитивной отрасли проведено моделирование ее бизнес-процессов, а также осуществлена имитация процессов длительностью 30 дней. Критерием оптимизации в данном исследовании рассматривалась себестоимость производства одной единицы 3D-принтера. Анализ результатов имитационного моделирования показал, что включение в организационную систему создания технологических ценностей контрактного производства позволит компании оптимизировать издержки, и, как следствие, себестоимость 3D-принтера, а также сократить срок производства одной партии. Внедрение предлагаемых преобразований в компанию подтвердило их эффективность.

Ключевые слова: распределенная сетевая организационная система, устойчивость, моделирование бизнес-процессов.

Введение

Российская экономика в 2019–2022 гг. столкнулась с рядом вызовов и проблем, такими, что основная повестка развития страны сейчас связана с импортозамещением и формированием технологического суверенитета. Традиционные отрасли промышленности имеют наработанный интеллектуальный и промышленный потенциал для решения возникшей задачи, а отрасль аддитивных производств в настоящее время сталкивается с рядом проблем, среди которых недостаток собственных технологий, зависимость от импортных поставок сырья и комплектующих для производства

3D-принтеров, небольшое количество производителей высокотехнологичной продукции в стране [1]. При этом аддитивная промышленность признается одним из приоритетов на государственном уровне, что подтверждается разработкой и утверждением стратегии развития аддитивных технологий в Российской Федерации на период до 2030 года.

В этой связи представляется актуальной задача поиска условий, обеспечивающих устойчивость организационных систем предприятий аддитивной отрасли.

Для решения задачи была поставлена цель — на примере компании из отрасли аддитивных технологий ис-

следовать возможность применения модели сетевой распределенной организационной системы для повышения ее устойчивости и обеспечения поставки технологической ценности заказчику с заданными параметрами качества.

Методика исследования

При выработке управляющих воздействий, которые поддерживают устойчивое состояние организационной системы, необходимо обеспечить ее наблюдаемость и управляемость [2]. Систему можно считать наблюдаемой, если по ее выходным результатам и управляющему воздействию можно восстановить промежуточные состояния данной системы. Если существует такое управляющее воздействие, которое переводит систему из одного состояния в другое, при этом обеспечивая требуемый выходной результат то её можно считать управляемой.

В нашем случае таким управляющим воздействием являются параметры технического задания, поступившего от заказчика на разработку модели 3D-принтера. Выходным результатом будет технологическая ценность в виде принтера, параметры качества которого соответствуют требованиям качества (изначально сформулированным заказчиком, а также появившимся в процессе разработки). Состояния организационной системы в каждый момент времени будут описывать соответствующие промежуточные технологические ценности заданного качества, поставляемые следующей подсистеме в рамках одной структуры. Общее представление описанной системы показано на рисунке 1.

Анализ эффективности организационной системы проводился моделированием её процессов, декомпозированных на составляющие операции. Также прово-

дилась идентификация основных компетенций сотрудников и их численности, требуемой инфраструктуры, и оценка затрат на обеспечение операций.

Для оценки целесообразности и эффективности применения модели сетевой распределенной организационной системы использован метод имитационного моделирования бизнес-процессов в нотации ePC в программной среде БП-симулятор. Имитация процессов позволяет провести прогнозирование их показателей с течением времени, а также выполнить сравнительный анализ и сделать выводы об их эффективности.

Эмпирическую базу исследования составили внутренние данные корпоративной информационной системы компании ЦНС (название изменено в целях сохранения конфиденциальности), характеризующие ее финансовые потоки, компетентностный состав сотрудников, инфраструктуру и перечень ее контрагентов, а также информацию о результатах выполнения операций за предыдущие периоды.

1. Организационные системы предприятий аддитивной отрасли

Рынок аддитивных технологий в значительной степени управляем потребителем. Связано это с тем, что потребители и заказчики аддитивных технологий нуждаются не в универсальных решениях, а в индивидуальном подходе к формированию требований качества производимой продукции [3]. Таким образом, получаемая продукция должна быть максимально кастомизированной, а конкурентоспособность таких организационных систем обуславливается способностью производителя обеспечивать наилучшее удовлетворение потребностей заказчиков. Кроме того, технологическая ценность,

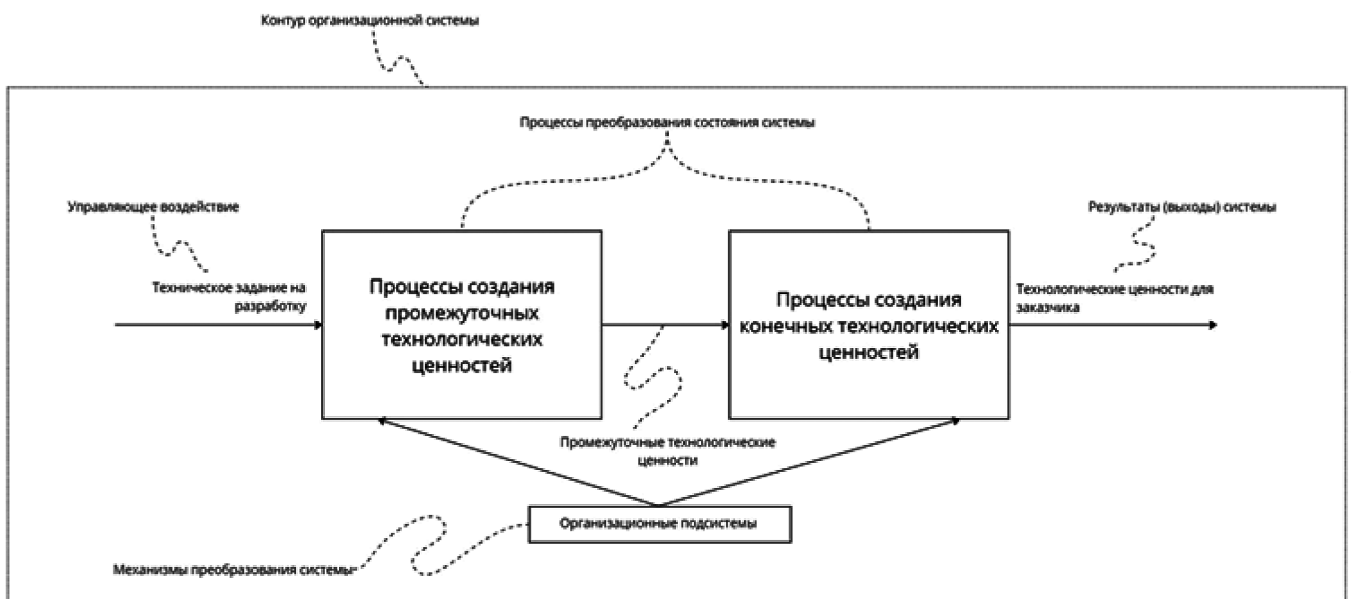


Рис. 1. Общее представление организационной системы создания технологической ценности

которую создают и доставляют заказчику предприятия аддитивной промышленности, зависит от качества поставляемых технологических ценностей от других поставщиков. Все это составляет особенности, характеризующие цепочки поставки ценности в высокотехнологических отраслях, в том числе и в аддитивной отрасли.

Эти требования приводят к существенной трансформации цепочек поставки ценности в таких организационных системах, а также в их внутренней структуре. Производство инновационной, высокотехнологичной, и при этом индивидуализированной продукции требует от производителя наличия в его организационной системе высокоспециализированных компетенций, инфраструктуры, достаточного запаса ресурсов, что неизбежно приводит к росту издержек, при этом рост издержек не всегда сопровождается пропорциональным ростом качества. Эти факторы приводят к тому, что организационная система таких предприятий, ограниченная контуром одного предприятия-производителя, теряет свою устойчивость. Под устойчивостью организационной системы в данном контексте будем понимать способность этой системы обеспечивать технологическую ценность для потребителя на заданном уровне качества в течение продолжительного времени. Учитывая давление изменчивых факторов внешней среды, в совокупности с изменяющимися требованиями к качеству со стороны заказчика, обеспечивать устойчивое состояние системы и при этом поддерживать норму прибыли для собственников бизнеса становится все сложнее.

Ввиду трансформации цепочек создания технологической ценности в аддитивной промышленности решение сложившейся проблемы видится в изменении подхода к формированию самой организационной системы, которая эту ценность обеспечивает. Традиционные подходы к формированию организационных структур предполагают все механизмы исполнения и создания технологической ценности концентрировать в рамках одного предприятия. Однако, как было указано выше, в отрасли аддитивных технологий подобные механизмы в цепочке создания ценности являются узкоспециализированными, и нахождение их в контуре одной организации нецелесообразно. В этой связи предлагается формирование распределенной сетевой организационной системы, обеспечивающей всю цепочку создания технологической ценности. Как показывает практика, переход к подобным организационным структурам в высокотехнологических отраслях промышленности позволяет получить существенные преимущества с точки зрения операционных показателей деятельности компании [4–8].

В данном исследовании под распределенной сетевой организационной системой будем понимать систему, контур которой включает в себя не только предприятие — производителя конечной продукции, но и других

участников, обеспечивающих поставку продукции заданного качества при реализации технологической ценности для конечного потребителя. Отличие данного подхода от традиционных цепочек создания ценности заключается в том, что, несмотря на наличие собственного центра управления в каждой организационной подсистеме, один из участников этой цепочки выступает в качестве координирующего управляющего органа, обеспечивающего согласованное достижение целей всех участников этой системы. Таким образом, цели каждой подсистемы, а также требования к поставляемой ею технологической ценности, являются согласованными, и уровень качества создаваемых ценностей ранних этапов в цепочке вносит свой вклад в достижение конечной технологической ценности для заказчика. В качестве такого координатора на рынках, управляемых потребителем, выступает предприятие, отвечающее за непосредственное взаимодействие с заказчиком, обеспечивающее проектирование, опытно-конструкторские работы, а также дизайн и непосредственную поставку технологической ценности.

2. Моделирование бизнес-процессов организации

Для оценки возможности применения новой модели сетевой распределенной организационной системы рассмотрим пример компании ЦНС из аддитивной отрасли, которая занимается разработкой, проектированием и производством промышленных 3D-принтеров.

Анализ финансовых показателей компании за период 2019–2022 (представлено на рисунке 2) позволил сделать вывод о неустойчивости бизнес-процессов организации. С 2019 года выручка компании падает.

Согласно принятой методике исследования были выявлены основные параметры, необходимые для моделирования рассматриваемой организационной системы создания технологической ценности для потребителя. Исследуемый процесс — производство партии 3D-принтеров с заданными требованиями качества, которая представляет технологическую ценность для заказчика. В рамках декомпозиции бизнес-процессов организации были выделены процессы преобразования состояния организационной системы, начинающиеся составлением спецификации на сырье и материалы для производства, и заканчивающиеся упаковкой готового изделия. В качестве параметров при моделировании определили связи операций и их последовательность, длительность каждой операции для всех бизнес-процессов, а также длительность перемещения результатов одной операции к другой.

В данном исследовании принимается допущение, что одновременно в компании исполняется только один экземпляр процесса, чтобы исключить возможность взаимного влияния создаваемых ценностей друг на друга.

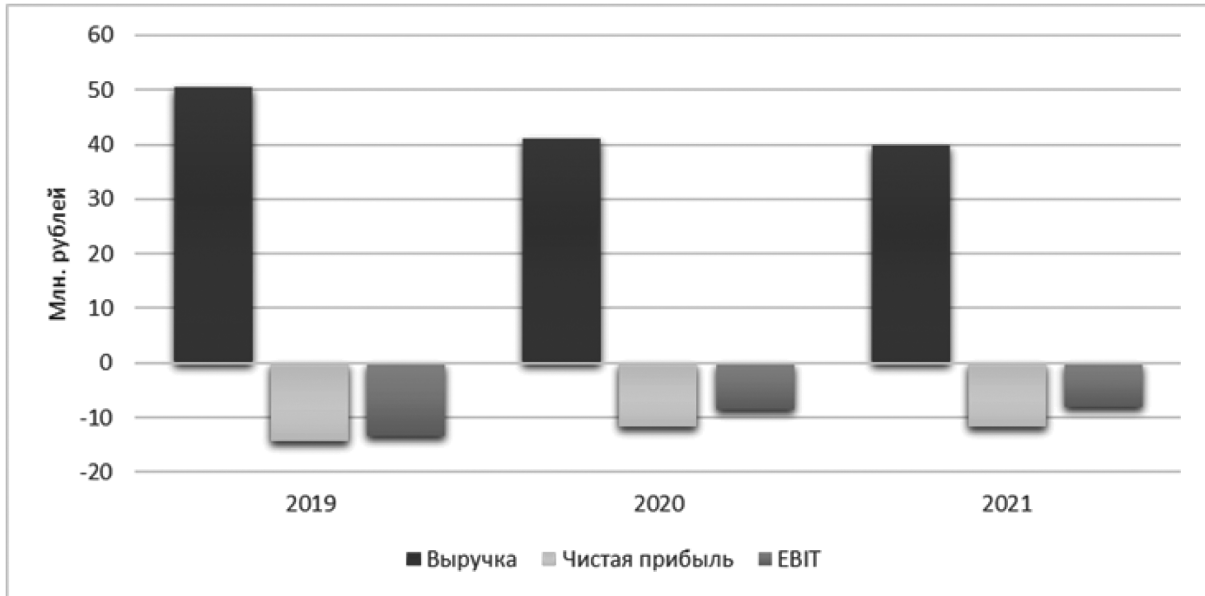


Рис. 2. Динамика финансовых показателей компании

Для каждого идентифицированного процесса необходимо определить механизмы его реализации, обеспечивающие преобразование системы. В данном случае механизмы задаются составом подразделений организационной системы, численностью и квалификацией его работников, их стоимостью в единицу времени. Для моделирования каждой подсистемы был составлен перечень и численность исполнителей, задействованных в процессе, и перечень используемого оборудования. В качестве входных параметров для моделирования учета стоимости рабочего времени была установлена стоимость ресурса в час, для сторонних исполнителей — стоимость за задачу, а для оборудования — норма амортизации.

При моделировании представляется необходимым также учесть тот факт, что возможные переходы системы из одного состояния в другое подчиняются некоторым внутренним правилам, формирующим внутреннюю среду организационной системы. В их числе организационная культура, правила, нормы и процедуры, стиль и методы управления. В данном случае в качестве параметров, характеризующих организационную систему, можно выделить вероятностные характеристики получения сырья и материалов от поставщиков, не соответствующих требуемому уровню качества для этой технологической ценности, а также вероятность возврата результатов операции на предыдущую стадию в случае, если результаты внутренней проверки качества изделия при сборке являются неудовлетворительными. Для оценки данной вероятности используем модель, разработанную в работе [1].

Каждый объект, являющийся входом производственного процесса, обладает некоторым набором

показателей качества, обозначим их множеством X . При поступлении на вход процесса осуществляется проверка соответствия показателей множества X некоторому входному барьеру, обозначим это множество как Y . Те объекты, которые по своим параметрам качества (X) не удовлетворяют барьеру входа (Y), выводятся из процесса, а остальная часть поступает на вход соответствующего процесса.

Так как каждый объект s_j , подлежащий контролю, характеризуется X показателями качества, то для определения вероятности P выполнения требований входного барьера Y по каждому показателю воспользуемся нормальным распределением (1):

$$P(x_{i,s_j} \geq y_i) = 1 - \left(\Phi\left(\frac{y_i - M_i}{\sqrt{M_i}}\right) - \Phi\left(\frac{0 - M_i}{\sqrt{M_i}}\right) \right), \quad (1)$$

где x_i, s_j — значение i -го показателя качества s_j объекта контроля, y_i — значение требования к i -му показателю качества на входном барьере Y , M_i — среднее значение i -го показателя контролируемого объекта. Определяется на основе статистических наблюдений по имеющимся историческим данным осуществления операций в компании за последние 2 года.

Событием, запускающим процесс, является поступление заявки и формирование технического задания на разработку партии принтеров.

С учетом перечисленных параметров создана модель в нотации ePC (рисунок 3) и проведена имитация бизнес-процессов длительностью один производственный цикл (30 дней). Результат представлен на рисунке 4.

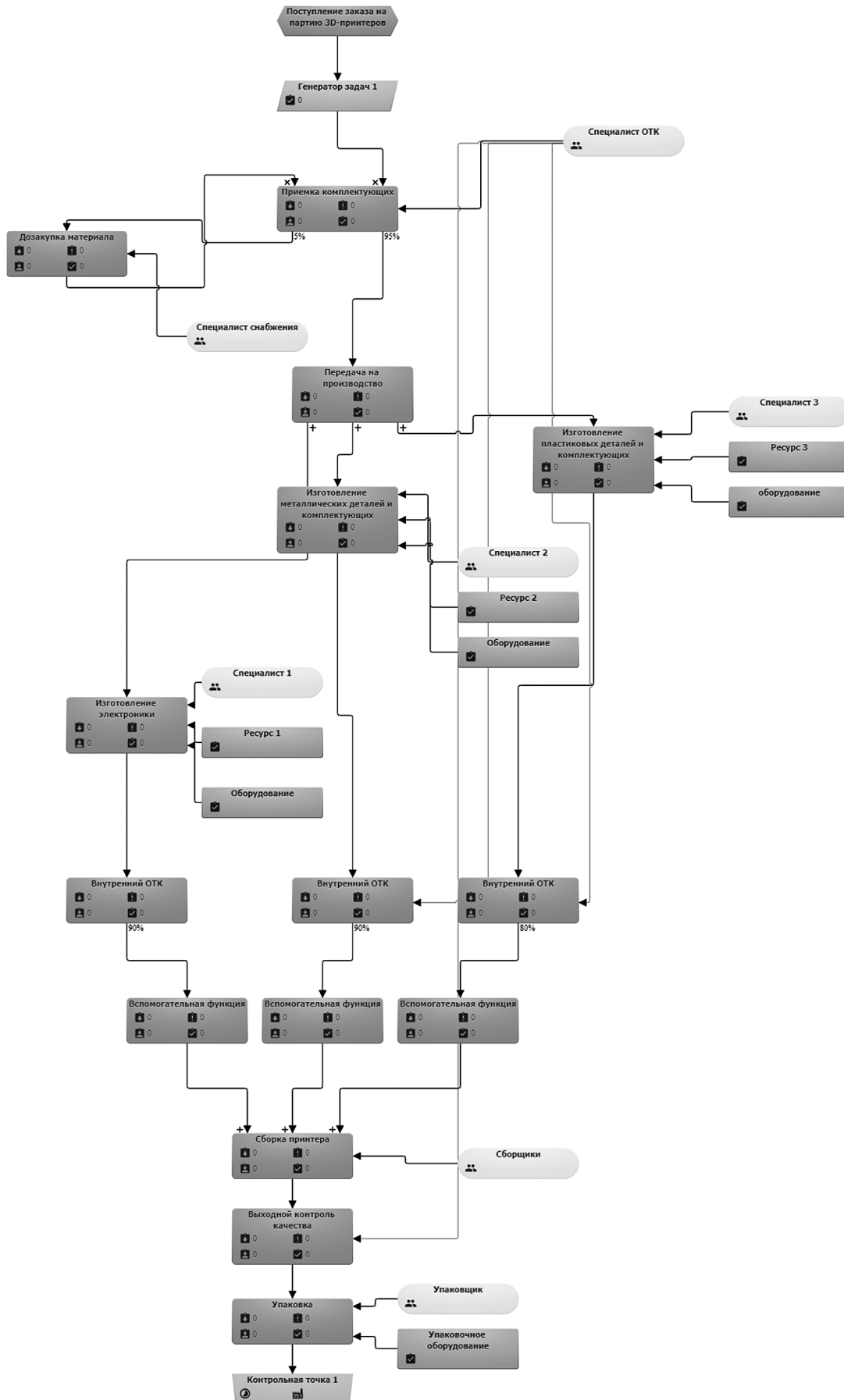


Рис. 3. Представление модели организационной системы цепочки создания технологической ценности «как есть»



Рис. 4. Результаты имитационных испытаний бизнес-процессов

В результате имитации была получена длительность процесса, которая составила в среднем 119 модельных часов, при этом наблюдается более 200 часов простоя и ожидания функций (см. рисунок 4). Это связано, в первую очередь, с тем, что процессы ввиду наличия вероятности возвратов простаивают в ожидании результата с предыдущей стадии. Согласно модели за 30 дней полный производственный цикл производства завершен для четырнадцати принтеров со стоимостью около 200 тысяч рублей каждый. Модель в соответствии реальным данным адекватно описала время производства принтера и его стоимость.

Согласно модели, самый проблемный этап в организационной системе — это подготовительный, на котором осуществляется снабжение производства материалами, а также контроль их качества, доработка приобретаемых материалов, а также сборка ключевых узлов принтера. Этот этап составляет почти 80 % всего производственного времени.

Такие высокие затраты временного ресурса связаны с ограниченными возможностями организационной системы. Процессы снабжения и входного контроля осуществляются непосредственно перед производством по причине отсутствия возможности поддерживать необходимый уровень складских запасов сырья и материалов необходимого качества. Отсутствие на рынке полуфабрикатов требуемого качества, а также индивидуальные особенности конфигурации принтеров под требования заказчика приводят к необходимости доработки приобретаемых материалов. Высокие временные затраты на сборку связаны, в том числе, с необходимостью освоения новой технологии и конфигурации принтеров исполнителями, задействованными в организации. Отсутствие навыков и новизна приводят к необходимости поэтапного контроля качества создаваемой технологической ценности, что существенно увеличивает время всего процесса. В некоторых случа-

ях, требуется переквалификация специалистов или поиск их на рынке труда.

Перечисленные особенности приводят также к росту операционных издержек. В связи с чем именно этот блок бизнес-процессов было предложено модернизировать с точки зрения механизмов их реализации.

При формировании сетевой распределенной организационной структуры предлагается включить в контур организационной системы механизмы исполнения, ответственные за поставку технологической ценности в виде готовых модулей и узлов для 3D-принтера, передав тем самым задачи более низкого передела, сопровождающиеся большими затратами времени и финансовых ресурсов, более компетентному участнику, обладающему специализацией по данному направлению. Принято решение передать задачи агрегатной сборки узлов контрактному производству, тем самым перераспределить бизнес-процессы организационной системы. В свою очередь, контрактный производитель как новый элемент организационной системы, задействует собственные каналы поставки комплектующих, сырья и материалов, а также подрядные организации для производства узлов, включая в организационную систему новых участников, добавляющих технологическую ценность в конечную продукцию для заказчика. Тем самым, формируется распределенная сеть исполнения бизнес-процессов по созданию технологической ценности, образуя организационную систему, объединенную единой конечной целью.

Предложенные преобразования были внесены в модель и проведена имитация той же длительности в этом случае.

Теперь процесс производства в компании ЦНС инициируется поступлением собранных модулей принтеров от контрактного производителя. Компания берет

на себя задачи осуществления входного тестирования, итоговой сборки, брендирования продукции, и упаковки для транспортировки конечному пользователю.

В результате построения модели было установлено, что среднее время производственного цикла внутри организации составляет порядка девяти нормо-часов. За производственный цикл длительностью один месяц подряд успевают произвести не более 20 единиц продукции, при этом всегда есть несколько запасных моделей на случай обнаружения брака или несоответствия технической и конструкторской документации. Таким образом, время производства одного принтера в нормо-часах существенно сокращается.

Себестоимость одного принтера складывается теперь из стоимости подрядчика за единицу (170 тыс. рублей), а также внутренних производственных расходов организации ЦНС (порядка 10 тыс. рублей). Итого общая себестоимость принтера при контрактном производстве составляет 180 тыс. рублей.

Данное модельное исследование позволяет сделать вывод, что изменение организационной системы компании ЦНС на сетевую распределенную систему позволяет получить существенные преимущества как с точки зрения экономии на себестоимости (снижение на 12 %), так и роста производительности (рост почти в два раза).

3. Внедрение результатов исследования в компанию

На основании полученных данных и подтверждения гипотезы руководством компании ЦНС было принято решение о реализации организационных изменений. В результате были запланированы и реализованы организационные и кадровые преобразования, а также изменения в бизнес-процессах. Рассмотрим их подробнее.

Кадровые изменения.

Для обеспечения перехода на контрактное производство были произведены кадровые изменения, связанные с исключением отдела производства, включая сборщиков 3D-принтеров, контролеров ОТК, технологов и менеджера по снабжению производства. Однако, для обеспечения взаимодействия с контрактным производством потребовалось добавить позицию менеджера по контрактному производству.

Основной функционал нового сотрудника заключается в выстраивании взаимодействия с производителем, обеспечении передачи конструкторской и технической документации, сборе и отработке обратной связи по продукции, и решении операционных вопросов взаимодействия.

Организационные и процессные изменения.

Переход на внешнее производство потребовал от компании пересмотреть процессы планирования, взаимодействия между отдельными структурными подразделениями, а также взаимодействие с покупателями в рамках сервисного обслуживания. Рассмотрим эти изменения подробнее:

- процесс планирования требуемых объемов производства. В связи с длительным циклом закупки комплектующих для производства (длительностью до двух месяцев) собственное производство вызывает необходимость либо производить корректировку объемов производства не позднее, чем за три месяца до даты производства, либо формировать склад комплектующих и, как следствие, замораживать денежные средства на длительный период в виде запасов, нанимать управляющего складом, поддерживать запасы на необходимом уровне. Переход на контрактное производство позволил снизить минимальный срок изменения плановых объемов до одного месяца (срок производства партии) за счет передачи рисков, связанных с материалами, на производителя;
- взаимодействие между отделом производства и остальными подразделениями. За счет формирования единого окна взаимодействия в лице менеджера по контрактному производству сокращается количество коммуникаций с прочими отделами, выстраиваются более эффективные горизонтальные связи, а также обеспечивается исключение дублирующей обратной связи (например, от сервиса, маркетингового отдела, партнеров и т.д.), и более прозрачный процесс отслеживания выполнения действий по отработке обратной связи путем включения дополнительной проверки в чек-лист при выходной приемке;
- взаимодействие с покупателем/потребителем в рамках гарантийного обслуживания. В связи с наличием контрактного производителя, у потребителя возникает возможность обращения напрямую к производителю с претензией, что вызывает необходимость дополнительного взаимодействия между компанией и контрактным производителем. Кроме того, определение гарантийного случая требует двух этапов — установление факта наступления гарантийного случая в компании, и согласование результатов оценки с производителем в связи с необходимостью последующей компенсации контрактным производителем понесенных расходов.

В результате перехода на контрактное производство удалось добиться:

- уменьшения расходов на ФОТ на 1 062 000 рублей в месяц;

- снижения времени производства единицы 3D-принтера от 20 до 30 % в зависимости от модели;
- сокращения времени на отработку обратной связи. Изменения, связанные с процессом сборки/производства, могут быть осуществлены уже в следующей партии продукции;
- снижения себестоимости продукции на 10–15 % за счет экономии на масштабе и специализации контрактного производителя.

Кроме того, наличие гарантий со стороны контрактного производителя относительно уровня качества поставляемых ими технологических ценностей позволяет говорить о повышении вероятности удовлетворенности заказчика конечной продукцией, то есть об устойчивости организационной системы и ее способности при различных изменениях внешней среды осуществлять на выходе технологическую ценность требуемого уровня качества.

Выводы

Традиционные подходы формирования организационной системы, при которых большинство уровней передается силами одного предприятия, неэффективны в условиях отраслей и рынков, управляемых потребителем, к которым относится аддитивная отрасль. В результате давления изменяющихся факторов внешней среды, а также в связи с инновационностью

каждого технологического решения для заказчика, организационные системы промышленных предприятий аддитивной промышленности теряют способность производить технологические ценности заданного качества с учетом собственных интересов к доходности этой системы, то есть теряют свою устойчивость. Предлагаемый подход к формированию модели сетевой распределенной организационной системы позволит решить эту проблему и преодолеть барьеры, с которыми сталкиваются предприятия аддитивной промышленности в настоящее время.

Имитационное моделирование сетевой распределенной организационной системы позволило сделать предположение об эффективности предлагаемой модели.

Апробация на примере действующего предприятия аддитивной промышленности позволила продемонстрировать эффект от ее реализации, который заключается в сокращении расходов на оплату труда исполнителей, сокращении длительности коммуникаций в организационной системе, что в итоге привело к сокращению времени производства на 20–30 % (в зависимости от требуемых показателей качества разрабатываемой технологической ценности), а также снижению себестоимости на 10–15 %. Новые условия позволяют говорить о повышении вероятности поставки конечному потребителю технологической ценности, удовлетворяющей всем требуемым параметрам качества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цыганков Н.С. Методы и модели планирования и оперативного управления процессами создания аддитивного оборудования на примере экструзионных 3D-принтеров: дис. ... канд. техн. наук. СПб, 2022. 149 с.
2. Красовский Д.Л., Туккель И.Л. Категории «наблюдаемость» и «управляемость» инновационных процессов // Системный анализ в проектировании и управлении: сборник научных трудов XXVI Международной научно-практической конференции, 13–14 октября 2022 года. 2022. В 3 частях, ч. 3. С. 69–75.
3. Цыганков Н.С., Петрунина А.Э. Способ оценки состояния подразделений разработки экструзионных 3D-принтеров // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2022. Т. 24, № 2. С. 75–86.
4. Пашенко Д.С., Комаров Н.М. Стратегические альянсы и партнерские программы в новой экономике: опыт российской и мировой IT-отрасли // Мир новой экономики. 2020. № 14(1). С. 15–25.
5. Мусатова М.М. Новые индустриальные модели и системы управления в компаниях ГК «Ростех» // Мир новой экономики. 2021. Т. 15, № 4. С. 100–112.
6. Флек М.Б., Богуславский И.В., Угнич Е.А. Совершенствование организации высокотехнологичных производств: индустриальная модель // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18, № 1(2). С. 342–348.
7. Дворецкая В. В. Индустриальная модель развития организаций оборонного комплекса // Учет. Анализ. Аудит. Т. 5, № 4. С. 6–13.
8. Krasnyuk I., Kolgan M., Medvedeva Y. Development of an ecosystem approach and organization of logistics infrastructure // Transportation Research Procedia. 2021. № 54. P. 111–122.

© Петрунина Анастасия Эдуардовна (akasimova@sfu-kras.ru); Цыганков Никита Сергеевич (cyganikita@yandex.ru);
 Москалев Александр Константинович (ak_moskalev@mail.ru)
 Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»