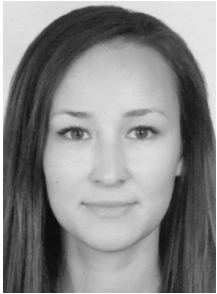


Формирование модели цепочки поставки ценности в организационных системах промышленных предприятий

Formation of a value supply chain model in organizational systems of industrial enterprises



А. Э. Петрунина,
старший преподаватель
✉ kafedra_efit@bk.ru

A. E. Petrunina,
senior lecturer



А. К. Москалев,
к. ф.-м. н., доцент
✉ ak_moskalev@mail.ru

A. K. Moskalev,
candidate phys. and math. sci.,
associate professor

Кафедра экспериментальной физики и инновационных технологий, Институт инженерной физики и радиоэлектроники,
Сибирский федеральный университет

Department of experimental physics and innovative technologies, Institute of engineering physics and radioelectronics, Siberian federal university

В условиях нестабильной экономической среды промышленные предприятия, особенно высокотехнологичные, нуждаются в инструментах обеспечения устойчивости организационных систем. Одним из таких инструментов является концепция цепочки создания ценности, однако отсутствие четких методик проектирования и оценки эффективности таких цепочек ограничивает их применение. Цель данного исследования — разработка модели цепочки поставки ценности в организационных системах промышленных предприятий на основе анализа миграции проектов по стадиям жизненного цикла.

Разработанная модель учитывает требования к качеству технологической ценности, потенциал организации и ее активность, влияющую на скорость реализации проектов. Время преодоления каждой стадии описывается экспоненциальным распределением, зависящим от уровня требований и активности системы. Показано, что увеличение потенциала сокращает время прохождения стадий, а высокая активность ускоряет эволюцию процесса.

Проведены расчеты для траектории из четырех стадий с ограничением по времени. Результаты демонстрируют, что дисперсия времени реализации проекта растет с увеличением числа стадий, а усиление потенциала на ключевых этапах значительно сокращает общую длительность. Модель позволяет оптимизировать управляющие воздействия, оценивать достаточность внутренних ресурсов и целесообразность привлечения внешних участников.

Практическая апробация модели запланирована на предприятии авиационной промышленности. Предложенный подход способствует повышению устойчивости организационных систем в высокотехнологичных отраслях.

In today's volatile economic environment, industrial enterprises, especially high-tech companies, require tools to enhance the resilience of their organizational systems. One such tool is the value chain concept, yet the lack of clear methodologies for designing and evaluating the effectiveness of such chains limits their application. The aim of this study is to develop a model for managing the resilience of an industrial enterprise's organizational system by analyzing the migration of tokens (projects) through lifecycle stages.

The model incorporates quality requirements for technological value, organizational potential, and activity levels that influence project implementation speed. The time required to overcome each stage follows an exponential distribution, dependent on quality standards and system activity. The findings show that increased potential reduces stage transition time, while higher activity accelerates process evolution.

Calculations were conducted for a four-stage trajectory with a time constraint. The results demonstrate that variance in project completion time grows with the number of stages, while strengthening potential at key phases significantly reduces overall timelines. The model helps optimize management interventions, assess the sufficiency of internal resources, and evaluate the feasibility of involving external participants.

Practical testing of the model is planned at an additive manufacturing enterprise. The proposed approach enhances organizational resilience in high-tech industries.

Ключевые слова: устойчивость организационной системы, цепочка создания ценности, управление проектами, технологическая ценность, моделирование жизненного цикла.

Keywords: organizational resilience, value chain, project management, technological value, lifecycle modeling.

Введение

Сокращение доступа к критически важным технологиям из-за комплексных санкционных ограничений со стороны ряда стран негативно отражается на конкурентоспособности ключевых отраслей и благосостоянии конечных потребителей. Наибольший ущерб это наносит высокотехнологичному сектору нашей экономики, что актуализировало вопрос разработки стратегий импортозамещения [1]. Преодоление технологической зависимости требует опережающего формирования собственной научно-производственной базы, способной обеспечить устойчивое развитие экономики в условиях внешнего давления. В этой связи промышленные предприятия, специализиру-

ющиеся на выпуске высокотехнологичной продукции, становятся ключевыми драйверами экономического роста. Глобальные вызовы диктуют необходимость радикальной трансформации традиционных моделей управления в критически важных для страны отраслях с целью повышения их адаптивности к динамично изменяющейся внешней среде. В данном контексте особую значимость приобретает разработка теоретико-методологических основ и практических механизмов повышения эффективности организационных систем таких промышленных предприятий.

Одним из перспективных направлений современных исследований является анализ цепочек создания потребительской ценности [2-5], поскольку их оптимизация способна стать катализатором развития

промышленного сектора. Сущность данного подхода заключается в проектировании гибких организационных систем, основанных на принципах разделения труда в соответствии с этапами жизненного цикла высокотехнологичной продукции. Подобная модель позволяет предприятиям обеспечивать устойчивое формирование технологической ценности для потребителей даже в условиях высокой волатильности внешней среды.

Определенную нишу решения этих актуальных задач предоставляет отсутствие формализованных математических подходов, позволяющих количественно оценить эффективность таких решений с точки зрения достижения целевых показателей ценности.

Анализ публикаций, посвященных исследованиям эффективности индустриальных моделей [5-9], выявил преобладание финансово-ориентированного подхода, в рамках которого основное внимание уделяется экономическим эффектам от интеграции сторонних участников в цепочку создания ценности. Среди ключевых ограничений данной методологии можно отметить доминирование затратной парадигмы, где критерием оптимальности выступает минимизация издержек при передаче бизнес-процессов на аутсорсинг. Предлагаемые подходы не позволяют провести комплексную оценку рыночных показателей эффективности, уровня удовлетворенности конечного потребителя, а также возможные риски потенциального снижения качества при сокращении затрат. Стоит отметить, что существующие подходы не учитывают возможного синергетического эффекта за счет кадрового потенциала, производственных возможностей, научно-технического задела и развитости каналов сбыта различных участников кооперации. Иными словами, представленный в работах экономический инструментарий не предоставляет четких критериев определения оптимального уровня интеграции и кооперации, необходимого для максимизации соответствия требованиям потребителей в заданные временные рамки. Данная проблема указывает на необходимость дальнейших исследований в области моделирования организационных систем промышленных предприятий с целью разработки методик управления их устойчивостью в условиях неопределенности.

Нами выдвинута гипотеза, что устойчивость организационной системы, особенно высокотехнологических производств, зависит от предъявляемых требований к качеству поставляемой технологической ценности, потенциала и активности организационной системы. Исходя из этого была сформулирована цель исследования — разработка математической модели цепочки поставки ценности в организационных системах промышленных предприятий.

Материалы и методы

Для проверки гипотезы использованы общенаучные методы исследования, в частности, математическое моделирование организационных систем. При построении модели использовали математический

аппарат теории массового обслуживания. Математические вычисления, визуализация данных и моделирование осуществлялись в программном пакете Maple.

Поставка ценности в организационной системе промышленного предприятия

Для верификации предложенной гипотезы необходимо исследовать механизмы функционирования организационной системы в процессе поставки технологической ценности для конечного потребителя. Анализ подобных систем целесообразно рассматривать с точки зрения поэтапно-временных характеристик, учитывающих преобразование входного потока в целевой выходной результат.

Входящий сигнал из внешней среды инициирует создание некоторого объекта (иногда по тексту — устройство), обладающего рядом параметров и их значений, описываемых базисным множеством $W_0 \{W_{0,1}, W_{0,2}, \dots, W_{0,n}\}$, где $W_{0,i}$ — это количественные параметры, характеризующие требования к уровню качества компонентов объекта (например, его технические характеристики), представляющие ценность для потребителя.

Перемещение устройства в процессе производства происходит по траектории вдоль оси жизненного цикла, обозначим ее как x . На каждом этапе движения устройство подвергается верификации на соответствие критериям перехода на следующую стадию. Данные критерии отражают требования к качеству предоставляемой технологической ценности, которые должны обеспечиваться организационной системой на конкретном этапе жизненного цикла. Временные параметры пребывания объекта управления на каждой стадии определяются как исходными характеристиками $W_{0,i}$, так и интенсивностью управляющих воздействий системы, обеспечивающих развитие целевых параметров объекта, что в дальнейшем будем называть активностью A . Отсутствие управляющих воздействий приводит к статичному состоянию организационной системы, блокируя переход объекта через критические точки развития.

Анализ движущих сил системы требует рассмотрения двух категорий факторов [6].

Факторы среды организационной системы. К данной категории относятся элементы, находящиеся под контролем участников системы и поддающиеся целенаправленному воздействию. К ним относятся:

- производственно-технологическая инфраструктура и ее пространственная организация;
- доступность материальных и интеллектуальных ресурсов;
- кадровый потенциал;
- нормативно-методическое обеспечение (регламенты, политики, процедуры);
- исторический опыт реализации проектов;
- научно-исследовательский задел и базы знаний.

Эти элементы формируют потенциал организационной системы W' , определяющий ее способность реализовывать полный жизненный цикл разработки проектов.

Указанная выше активность организационной системы (A). Данный фактор отражает степень реализации имеющегося потенциала. Ключевые показатели активности включают:

- производительность труда;
- инновационную активность (публикации, патенты);
- интенсивность обновления основных фондов;
- долю сотрудников высокой квалификации;
- скорость освоения новых технологий.

Важным ограничением системы является временной лимит t_0 на разработку и поставку устройства, превышение данного лимита приводит к снижению его ценности для заказчика. Таким образом, успешное завершение жизненного цикла создаваемого объекта определяется достижением всех целевых параметров W_0 к моменту времени t_0 .

Модель процесса поставки технологической ценности в организационной системе промышленного предприятия

Сформируем модель оценки общей величины воздействия в организационной системе для обеспечения требуемого уровня технических показателей изделия — W_0 .

Для формализации взаимосвязи между требуемым уровнем качества технологической ценности и потенциалом системы введем понятие совокупного объема работ W . Данная величина определяется как функция от установленных требований W_0 и текущего потенциала системы W' . При этом наблюдается обратно пропорциональная зависимость: увеличение потенциала W' приводит к снижению необходимых трудозатрат для достижения заданных характеристик W_0 . Математически данная зависимость может быть выражена следующим образом (формула (1)), графическая интерпретация представлена на рис. 1:

$$W = W_0 - W'. \quad (1)$$

Количественная мера затрат W' , необходимая для преодоления устройством барьера, обеспечивается как за счет внутреннего потенциала организационной

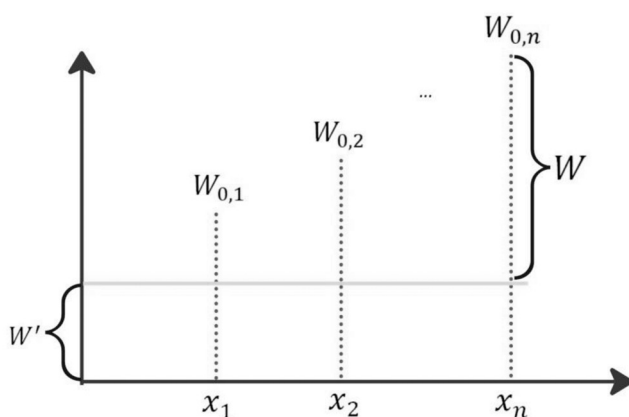


Рис. 1. Общий объем работы, которую должна произвести система

системы, так и благодаря внешнему участию, включающему привлечение исполнителей, не входящих в ее организационный контур. Для формализации данного процесса вводится коэффициент λ , отражающий долю совокупного объема работ, делегируемого сторонним организационным системам.

При отсутствии внешнего взаимодействия ($\lambda=0$) преодоление барьеров и достижение требуемых показателей качества обеспечивается исключительно внутренними ресурсами системы. В противоположном случае, когда $\lambda=1$, что соответствует полному переносу функций создания технологической ценности на внешние субъекты (например, при аутсорсинге или контрактном производстве, при котором компания сохраняет лишь клиентоориентированные, сбытовые и сервисные операции), обеспечение качества продукции зависит исключительно от внешних факторов. Тогда запишем выражение:

$$W' = W_0 (1 - \lambda) + W_{\text{вн}} \lambda. \quad (2)$$

Каждая стадия жизненного цикла нашего устройства предполагает достижение заданного уровня качества, определяемого подмножеством параметров, специфичных для данного этапа. Количество стадий и их критериальные показатели устанавливаются индивидуально в зависимости от природы объекта и требований к его функциональности.

Данный процесс может быть описан в терминах теории массового обслуживания, что позволяет применить ее математический аппарат для моделирования процесса управления организационной системой. В рамках теории массового обслуживания ключевыми элементами являются:

- запросы на обслуживание (в нашем случае — устройства на определенной стадии разработки),
- каналы обслуживания (представленные средой организации W' , формируемой внутренними и внешними ресурсами, как показано в уравнении (2)).

Критериями эффективности системы выступают:

- интенсивность потока успешно обработанных или отклоненных запросов,
- вероятность активации того или иного механизма обработки [7].

Аналогично теории массового обслуживания, где выбор канала обслуживания происходит вероятностным образом, организационная система влияет на вероятность перехода объекта на следующую стадию путем изменения структуры и границ своего контура. Следовательно, длительность пребывания устройства на текущей стадии является случайной величиной, зависящей от:

- состава участников организационной системы (задается параметром W),
- доступных активов системы (задается параметром A).

Рассмотрим стохастический процесс, характеризующийся следующим событием: объект преодолевает барьер и осуществляет переход через промежуточные

состояния в новую позицию. Временные характеристики данного процесса описываются распределением времен ожидания перехода $t_k - t_{k-1}$ из начального состояния $k-1$ в конечное k . Аналитически данное распределение задается выражением:

$$\rho(t_k - t_{k-1}) = v_k \exp(-v_k(t_k - t_{k-1})). \quad (3)$$

В выражении (3) параметр v_k характеризует интенсивность попыток осуществления перехода через барьер. Данный параметр является функцией от порядкового номера стадии жизненного цикла k и соответствующих данной стадии требований к качественным характеристикам создаваемой технологической ценности.

Для повышения наглядности интерпретации модели, введем показатель T_k — среднюю продолжительность пребывания объекта на стадии k . Согласно каноническим представлениям теории случайных процессов, данная величина может быть выражена через частотный параметр v_k стандартным образом, что представлено в соотношении:

$$v_k = 1/T_k.$$

Чем выше требования, которым должно соответствовать устройство, чтобы представлять технологическую ценность, тем более продолжительным будет время нахождения его на этой стадии жизненного цикла, и, как следствие, тем реже будет осуществляться попытка перехода к следующей стадии.

Учитывая прямую корреляцию между уровнем требований и интенсивностью необходимого управляющего воздействия, вырабатываемого организационной системой, можно также заключить, что чем больший объем усилий должна задействовать организационная система, т. е. чем больше требуемый уровень W , вне зависимости от того, какими силами он осуществляется, тем дольше будет находиться объект на этой стадии жизненного цикла.

С другой стороны, как было отмечено ранее, уровень активов организационной системы также влияет на время нахождения объекта на текущей стадии. Компания, характеризующаяся большими активами организационной системы, демонстрирует больший потенциал с точки зрения реализации технологической ценности. Это обусловлено тем, что:

- больший объем активов повышает пропускную способность системы;
- увеличивает эффективность обработки объектов;
- снижает временные затраты на достижение требуемых параметров.

Тогда значение параметра v_k определяется следующим образом:

$$v_k = v_0 \exp(-W/A). \quad (4)$$

В выражении (4) параметр v_0 представляет частоту попыток, характеризующую базовую активность объекта в условиях отсутствия технологических барье-

ров ($W_{0,k} \rightarrow 0$), т. е. собственную динамику системы без учета требований к качеству.

Рост требований к качеству устройства сопровождается ростом необходимого управляющего воздействия W , что, в свою очередь, приводит к уменьшению частоты попыток объекта перейти очередной барьер, и увеличению продолжительности определенной стадии жизненного цикла. В случае отсутствия каких-либо барьеров время определяется только внутренней активностью организационной системы и приложенным полем воздействия.

Из выражения (4) следует — чем выше активность организационной системы, тем выше скорость поэтапной эволюции процесса. Соответственно, чем больше активов имеется в распоряжении у организационной системы, тем быстрее протекают процессы трансформации объекта в технологическую ценность.

Устойчивость организационной системы при поставке технологической ценности

Рассмотрим теоретическое решение задачи вычисления вероятности перехода объекта из начального состояния x_{k-1} в конечное состояние x_k за временной интервал t . Активация внешнего управляющего воздействия индуцирует процесс миграции объекта вдоль оси жизненного цикла.

Вероятность такого элементарного события может быть записана в виде уравнения:

$$dP_n(t) = \prod_{k=1}^n \rho(\Delta t_k) \rho(W_k) dt_k dW_k \delta\left(t - \sum_{k=1}^n \Delta t_k\right), \quad (5)$$

где $\Delta t_k = t_k - t_{k-1}$ — время, затрачиваемое на обеспечение устройства необходимым уровнем качества для удовлетворения условия перехода на следующую стадию в организационной системе; W_k — величина потенциала организационной системы на этапе с номером k ; $\rho(W_k)$ — функция распределения величины потенциала организационной системы на этапе с номером k ; $\rho(\Delta t_k)$ — плотность распределения длительности попыток перейти барьер качества, задается согласно (3) законом Пуассона.

Тогда для выражения (5) можем записать:

$$dP_n(t) = \prod_{k=1}^n v_k \exp(-v_k \Delta t_k) \rho(W_k) dt_k dW_k \delta\left(t - \sum_{k=1}^n \Delta t_k\right) = \prod_{k=1}^n v_0 \exp(-W_k/A) \exp(-v_k \Delta t_k) \rho(W_k) dt_k dW_k \delta\left(t - \sum_{k=1}^n \Delta t_k\right). \quad (6)$$

Для количественной оценки вероятности успешного прохождения объектом всей последовательности технологических барьеров к заданному моменту времени необходимо выполнить интегрирование выражения (6) по пространству всех допустимых траекторий, которые приводят к благоприятному исходу.

Тогда плотность вероятности реализации траектории из n барьеров к моменту времени t можно записать в виде:

$$P_n(t, W) = \int_0^t \dots \int_0^{\infty} \prod_{k=1}^n v_0 \exp(-W_k/A) \exp(-v_k \Delta t_k) \rho(W_k) \delta\left(t - \sum_{k=1}^n \Delta t_k\right) dt_k dW_k. \quad (7)$$

В выражении (7) дельта-функция выполняет критически важную роль, формализуя временное ограничение системы. Она осуществляет селекцию только тех траекторий, для которых суммарное время перехода строго равно t , т. е. гарантирует выполнение следующего условия:

$$t = (t_1 - 0)^+ + \dots + (t_k - t_{k-1})^+ + \dots + (t_n - t_{n-1})^+. \quad (8)$$

Количество этапов жизненного цикла является переменным параметром, определяемым специфическими свойствами конкретного объекта, характером создаваемой технологической ценности и требованиями конечного потребителя.

При этом аналитическое вычисление выражения (7) возможно в случае, если известен конкретный вид распределения требуемых управляющих воздействий W_k .

Результаты численного анализа модели цепочки поставки ценности в организационных системах промышленных предприятий

Нами получено аналитическое выражение для плотности вероятности $p_n(t, W)$ преодоления последовательности барьеров к фиксированному моменту времени $t=10$ (условные единицы). Для каждой стадии k ($k=1, \dots, 4$) были заданы параметры v_k , характеризующие:

- потенциальные возможности организационной системы;
- активность процессов в организационной системе;
- уровень требований к качеству технологической ценности.

Результат, полученный на основе аналитических решений, представлен на графике, демонстрирующим эволюцию распределения длительности реализации проекта с увеличением числа стадий жизненного цикла (показано на рис. 2).

На рис. 2 можно заметить ожидаемое увеличение дисперсии времени реализации проекта с увеличением

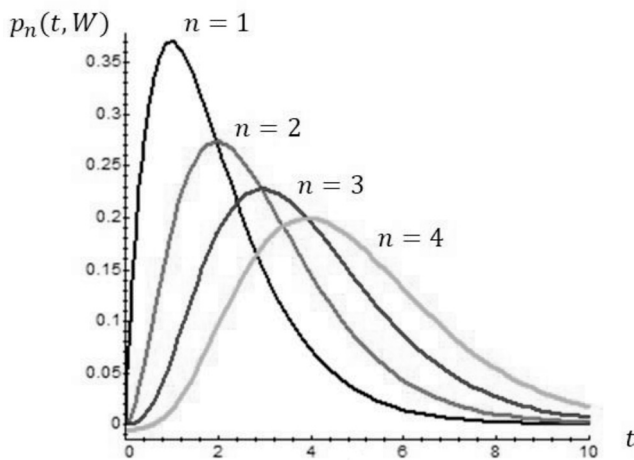


Рис. 2. Демонстрация эволюции распределения длительности реализации проекта (равномерное распределение потенциала по стадиям процесса)

числа стадий жизненного цикла, что соответствует теоретическим ожиданиям для многостадийных процессов.

Обсуждение и заключение

В рамках обсуждения предложенной модели влияния управляющего параметра v_k на временные характеристики реализации проекта рассмотрим теоретический эксперимент, основанный на вариативном расчете длительности стадий при различных значениях v_k .

В случае установки высокого значения параметра v_k для стадии 2, что соответствует предположению о высоком потенциале компании на данном этапе, наблюдается существенное сокращение временных затрат на прохождение этой стадии (показано на рис. 3). В результате, общая продолжительность реализации проекта становится определяемой длительностью стадии 1.

В результате проведенного моделирования можно установить, что:

- при $v_k \rightarrow \infty$ время прохождения соответствующей стадии стремится к пренебрежимо малой величине, что свидетельствует о доминировании других стадий в общей длительности проекта;
- при $v_k \rightarrow 0$ наблюдается резкое увеличение ожидаемого времени прохождения стадии жизненного цикла, что указывает на критическую зависимость скорости реализации проекта от уровня потенциала системы.

Для лучшей визуализации процесса сокращения времени на стадии 2 на рис. 4 приведено трехмерное изображение, где третьей осью, направленной вдоль x в ортогональной системе координат, является величина v_k .

Аналогичный эффект отмечается при проведении экспериментального моделирования для финальной стадии жизненного цикла: при высоких значениях v_k графики временных затрат для стадий 3 и 4 демонстрируют практически полное совпадение (показано на рис. 5).

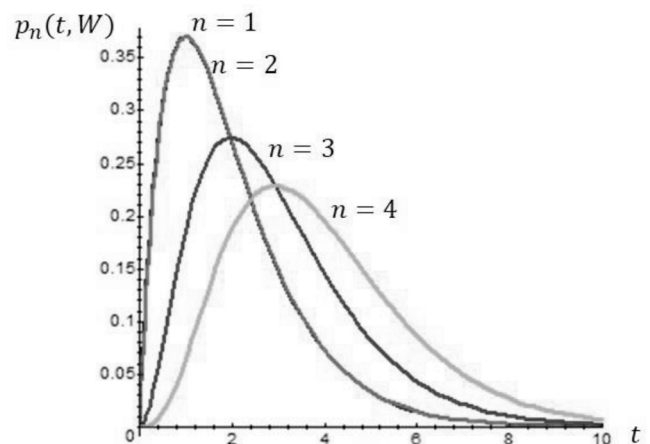


Рис. 3. Демонстрация эволюции распределения длительности реализации проекта ($v_2 \rightarrow \infty$) (кривая, относящаяся к стадии 1, совпала с кривой стадии 2)

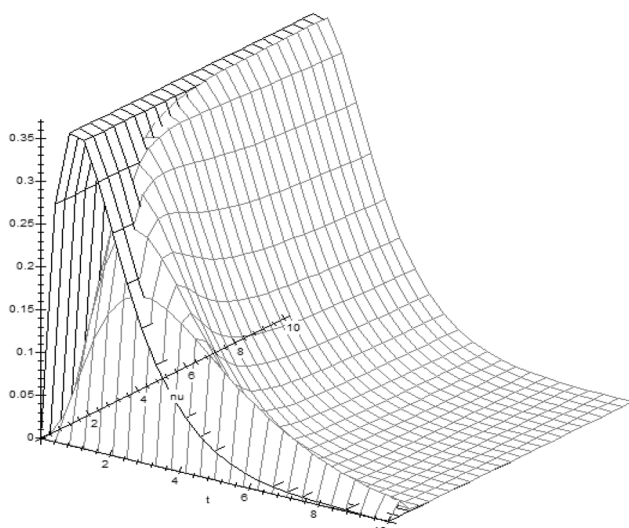


Рис. 4. Демонстрация эволюции распределения длительности реализации проекта ($v_2 \rightarrow \infty$) в трехмерном пространстве

Данное моделирование позволяет количественно оценить оптимальные значения v_k , минимизирующие общее время реализации проекта, и выявить условия, при которых отдельные стадии становятся лимитирующими. Полученные результаты могут быть использованы для параметрической оптимизации управления устойчивостью в организационных системах промышленных предприятий при поставке технологической ценности.

Практическое применение разработанной модели возможно при реализации производственных процессов на высокотехнологичных предприятиях таких отраслей, как аддитивное производство, робототехника, машиностроение и авиационная промышленность. Выбор данных отраслей обусловлен возрастающей ролью заказчика высокотехнологичной продукции, который ожидает индивидуального подхода к производству. Типовые решения часто не способны в полной мере удовлетворить требования заказчика с точки зрения создания технологической ценности. Кроме того, в указанных отраслях критически важным фактором является соблюдение сроков поставки, поскольку задержки могут существенно снизить ценность технологического решения для потребителя.

Предлагаемая модель реализуется в виде системы поддержки принятия решений при управлении цепочкой поставки ценности в организационной системе промышленного предприятия. Практическая апробация запланирована на предприятии, специализирующемся на производстве беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Учитывая стратегическую значимость выпускаемой продукции, компания должна обеспечивать бесперебойные поставки БПЛА уникальной конфигурации для решения различных задач. В настоящее время рассматривается возможность внедрения аддитивных технологий с целью повышения скорости производства, достижения максимального соответствия качества продукции требованиям заказчика при сохранении оптимальной себестоимости.

Следует отметить, что выбор между традиционными и аддитивными методами производства не является

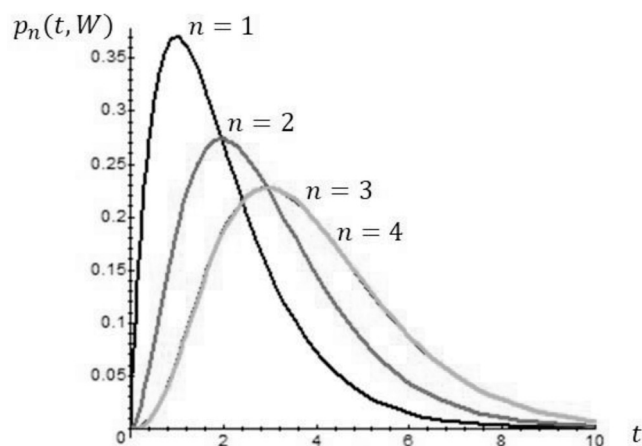


Рис. 5. Демонстрация эволюции распределения длительности реализации проекта ($v_4 \rightarrow \infty$)

однозначным и зависит от множества факторов, включая объем выпуска, сложность геометрии изделий, тип используемых материалов, энергоэффективность оборудования и требования к жизненному циклу продукции. В рамках рассматриваемого сценария анализируется возможность создания собственного производства 3D-принтеров на предприятии. Основная сложность управления такой системой заключается в динамично меняющихся требованиях к продукции, что требует постоянной оценки эффективности выбранного типа производства для каждой конкретной модели БПЛА.

Ключевые параметры качества включают точность изготовления, массу деталей, функциональные и прочностные характеристики, механо-физические показатели, шероховатость поверхности и точность геометрических размеров. Для каждого параметра определены предпочтительные значения, отражающие оптимальные условия производства с учетом проектных и эксплуатационных требований.

Поскольку в рассматриваемом случае предполагается изменение производственного потенциала одной организационной системы без привлечения дополнительных участников, показатель активности остается постоянным как для аддитивного, так и для традиционного производства. Критерии оценки потенциала охватывают широкий спектр параметров, включая конструктивные особенности БПЛА, скорость и воспроизводимость производственного процесса, себестоимость и экологичность.

Разработанная методологическая структура, основанная на оценке вероятности достижения заданных параметров качества к определенному моменту времени, легла в основу специализированного цифрового инструмента — производственного калькулятора, реализованного в виде веб-интерфейса.

Для апробации предложенного модельного решения проведен сравнительный анализ двух вариантов производства — аддитивного и традиционного — на примере конкретной модели БПЛА. Результаты анализа демонстрируют, что аддитивное производство

превосходит традиционные методы по ключевым параметрам при ограниченных объемах выпуска. Полученные результаты были приняты к внедрению и уже используются в практике управления организационной системой.

Итак, для исследования цепочек поставки ценности в организационных системах промышленных предприятий была разработана математическая модель, обеспечивающая количественную оценку вероятности достижения заданных параметров качества технологического продукта в условиях временных ограничений. Предложенная модель имеет практическую значимость для организационных систем, так как позволяет оптимизировать траекторию реализации проектов при поставке технологической ценности промышленными предприятиями. Ключевыми параметрами модели выступают показатели, характеризующие потенциал и активность организационной системы, которые варьируются в зависимости от состава ее участников.

Для эффективного управления движением устройства по стадиям жизненного цикла в организационной системе необходимо определить оптимальное управляющее воздействие W , обеспечивающее преодоление барьеров качества на каждом этапе.

Ключевую роль в сокращении времени прохождения стадий играют активы системы A , повышающие

частоту попыток перехода объекта. Однако ограниченность внутренних ресурсов может препятствовать достижению требуемого уровня управляющего воздействия.

В условиях недостаточности собственных возможностей организационная система может расширять свой контур за счет включения внешних участников, что снижает необходимый уровень внутренних усилий (соотношение (2)).

Данный подход обеспечивает формализацию процесса принятия решений относительно масштабирования организационной структуры и распределения ресурсов в условиях изменяющихся требований к качеству выходных параметров системы.

Дальнейшие исследования предполагают экспериментальную валидацию модели с использованием реальных производственных показателей конкретного предприятия, серийно выпускающего высокотехнологическую продукцию.

* * *

Благодарности. Авторы выражают признательность д. ф.-м. н., зав. кафедрой экспериментальной физики и инновационных технологий В. А. Орлову за ценный вклад в разработку и верификацию математической модели.

Список использованных источников

1. А. В. Зимовец, Т. Д. Климачев. Анализ и оценка сценариев социально-экономического развития России в условиях санкционной блокады и непредсказуемости глобальных трендов мировой экономики/ Экономические отношения. 2023. № 13. С. 181-202.
2. А. П. Барсуков. Развитие структуры управления организацией на основе формирования цепочек создания ценности: специальность 5.2.6 «Менеджмент». Диссертация на соискание к. э. н. Ростов-на-Дону, 2021. 389 с.
3. Е. В. Лукин, Т. С. Аносова, А. Е. Мельников, М. А. Сидоров. Опыт агент-ориентированного моделирования межрегиональных цепочек создания стоимости//Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2020. № 6. С. 101-116.
4. В. Е. Прокопцов. Эффективность взаимодействия предпринимательских структур в цепочке создания ценности: специальность 08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям и сферам деятельности, в т. ч.: экономика предпринимательства». Автореферат на соискание к. э. н. Санкт-Петербург, 2015. 19 с.
5. Н. Л. Удальцова. Проектирование ценностного предложения//Креативная экономика. 2021. № 4. С. 1427-1446.
6. В. В. Глухов, М. А. Пашоликов. Оптимизация партнерской сети предприятий при освоении новой продукции//Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Серия: «Экономические науки». 2017. Т. 10. № 3. С. 133-139.
7. В. В. Кондратьев, В. В. Попов, Г. В. Кедрова. Трансформация глобальных цепочек стоимости: опыт трех отраслей//Мировая экономика и международные отношения. 2020. Т. 64. № 3. С. 68-79.
8. Т. В. Сергиевич. Предпосылки и тенденции трансформации цепочек создания стоимости в условиях роботизации: на примере легкой промышленности//Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2021. № 3. С. 120-128.
9. М. В. Вечкасова, А. А. Зубарев, С. Ю. Шевченко. Устойчивая цепочка создания стоимости как инструмент развития ESG-моделей нефтегазохимических производств//Мир новой экономики. 2023. № 17 (2). С. 62-69.
10. Руководство по своду знаний по управлению проектами (Руководство PMBOK®). 6-е изд. Project Management Institute. Newtown Square, Pennsylvania, Project Management Institute, 2017. 624 с.
11. F. F. Galimulina, N. V. Barsegyan. Application of Mass Service Theory to Economic Systems Optimization Problems//Mathematics. 2024. № 12.

References

1. A. V. Zimovets, T. D. Klimachev. Analysis and assessment of scenarios for Russia's socio-economic development under the sanctions embargo and unpredictable global economic trends//Journal of International Economic Affairs. 2023. № 13 (1). P. 181-202.
2. A. P. Barsukov. Razvitiye struktury upravleniya organizatsiyey na osnove formirovaniya tsepochek sozdaniya tsennosti. Diss. kand. ekon. nauk. Rostov-on-Don, 2021. 389 s.
3. E. V. Lukin, T. S. Anosova, A. E. Mel'nikov, M. A. Sidorov. Experience in agent-based modeling of interregional value chains//Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast. 2020. Vol. 13. № 6. P. 101-116.
4. V. E. Prokoptsov. Effektivnost' vzaimodeystviya predprinimatel'skikh struktur v tsepocheke sozdaniya tsennosti. Avtoref. kand. ekon. nauk. Saint Petersburg, 2015. 19 s.
5. N. L. Udaltsova. Designing a Value Proposition//Creative Economy. 2021. № 15 (4). P. 1427-1446.
6. V. V. Glukhov M. A. Pasholikov. Optimization of the partner network of enterprises when developing new products//Scientific and technical bulletins of the Saint Petersburg state polytechnical university. Series: «Economic sciences». 2017. Vol. 10. № 3. P. 133-139.
7. V. V. Kondrat'yev, V. V. Popov, G. V. Kedrova. Transforming global value chains: experiences from three industries//World economy and international relations. 2020. Vol. 64. № 3. P. 68-79.
8. T. Sergeevich. Factors and trends in the transformation of value chains in the conditions of robotization: the case of light industry//Newsletter of North-Caucasus Federal University. 2021. № 3. P. 120-128.
9. M. V. Vechkasova, A. A. Zubarev, S. Yu. Shevchenko. Sustainable Value Chain as a Tool for the Development of ESG-Models of Petrochemical Industries//The world of new economy. 2023. Vol. 17. № 2. P. 62-69.
10. Project Management Institute. 2017. A guide to the project management body of knowledge.
11. F. F. Galimulina, N. V. Barsegyan. Application of Mass Service Theory to Economic Systems Optimization Problems//Mathematics. 2024. № 12.