

МОДЕЛЬ ОРГАНИЗАЦИИ РАЗРАБОТКИ ЭКСТРУЗИОННЫХ 3D-ПРИНТЕРОВ

© 2022 Н.С. Цыганков, А.К. Москалев

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

Статья поступила в редакцию 18.07.2022

Представлена модель разработки инновационной продукции, построенная на базе процессного подхода. Модель отличается учетом обратных связей между стадиями создания товара и взаимным влиянием разрабатываемой продукции в рамках одного этапа. Каждый продукт характеризуется множеством внутренних параметров качества X . По мере процесса разработки продукта внутри каждого этапа осуществляется изменение значений параметров качества. При входе, переходе между стадиями и выходе из воронки имеются барьеры для оценки параметров качества продукции X . Предложенная модель и формулы расчетов позволяют организовать работу по повышению эффективности процесса создания продукции, в частности оценить распределение разработок по этапам, включая поиск оптимального количества стадий, максимальное время нахождения и требования к переходу разработки на следующий этап. На основе данной математической модели с использованием программного обеспечения AnyLogic проведены расчеты динамики прохождения продукта на каждом этапе разработки. Процесс разработки экструзионного 3D-принтера включает 5 этапов: выработка и отработка идеи, разработка рабочей камеры 3D-принтера, разработка экструдера, разработка электроники 3D-принтера, отработка прототипа. Исходные данные для расчетов предоставлены компанией ООО «Компания ИМПРИНТА», которая занимается разработкой, изготовлением и реализацией 3D-принтеров бренда Hercules. В результате моделирования был получен график общего количества разработок, поступивших на каждую стадию. Для оптимизации процесса создания новой продукции использован соответствующий модуль AnyLogic. Рассмотрены возможности оптимизации действующей структуры организации разработок 3D-принтеров в ООО «Компания ИМПРИНТА». Предложено два направления оптимизации: снижение количества исключенных проектов путем подбора требуемой минимальной загрузки каждого этапа и максимального времени нахождения разработки на этапе; повышение количества успешных разработок путем подбора минимальных требований к каждому этапу и интенсивности поступающих разработок на входе в воронку. При решении первой задачи удалось снизить количество исключенных разработок на 30%.

Ключевые слова: качество, управление, организация производства, продукция, процесс, математическая модель, инновации, 3D-принтер, разработка, воронка инноваций.

DOI: 10.37313/1990-5378-2022-24-4-87-96

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ
в рамках научного проекта № 19-37-90023*

ВВЕДЕНИЕ

Инновационная деятельность и промышленность, которая создается на ее основе, является одним из основных источников развития экономических систем [1]. Ключевая роль в отраслях промышленности принадлежит машиностроению, выстраивающему межотраслевые связи и обеспечивающему прочие отрасли оборудованием, машинами и устройствами для их функционирования и развития.

Можно сделать вывод об обеспечении стабильного потока новых востребованных на

рынке товаров и услуг для поддержания устойчивого развития отраслей промышленности. В этом смысле отрасль аддитивных технологий является перспективным направлением машиностроения. Молодая и быстро развивающаяся отрасль не только содействует переходу к цифровой экономике и Индустрии 4.0, но и является одним из основных драйверов промышленного развития, предлагая возможность организации гибкого производства и прототипирования. Это окажет значительное влияние на смежные отрасли, включая изменение структуры производственной себестоимости [2].

Перспективность данных технологий отмечена в Стратегии развития аддитивных технологий в Российской Федерации на период до 2030 года. Согласно материалам стратегии в зависимости от сценария развития рост отрасли к 2030 года должен составить от 35% до 47,5%. Одной из важнейших задач стратегии является создание

Цыганков Никита Сергеевич, старший преподаватель кафедры экспериментальной физики и инновационных технологий. E-mail: cyganikita@yandex.ru

Москалев Александр Константинович, кандидат физико-математических наук, профессор кафедры экспериментальной физики и инновационных технологий.

E-mail: ak_moskalev@mail.ru

системы серийного производства оборудования для печати изделий аддитивными методами, при этом отмечается недостаточная развитость системы отраслевых стандартов в данной области, что в свою очередь создает проблему удовлетворения потребителей качественным оборудованием. Проблема усугубляется тем, что аддитивное оборудование в целом его отдельные узлы и модули являются инновационной продукцией, что осложняет задачу определения требуемых параметров качества разработки и, как следствие, организацию данного процесса.

Наибольший интерес вызывают экструзионные 3D-принтеры, процесс аддитивного производства в которых осуществляется путем выборочной подачи материала через сопло, или жиклер с использованием различных источников активации.

Цель настоящего исследования – создание модели организации процесса разработки экструзионных 3D-принтеров на предприятии.

ОБЗОР РАБОТ ПО ПРОБЛЕМЕ

Существует ряд научных подходов описания процесса разработки инновационной продукции на предприятиях. Общее представление о создании продукции для достижения целей в области качества рассматривается через политику предприятия и состоит из трех взаимосвязанных процессов: стратегический менеджмент, создание продукта и потребление продукции [3]. Авторы работы [4] дополнительно раскрывают подпроцессы единого процесса планирования новых продуктов и их характеристики. Это предположение рассматривает подпроцесс «Анализ реализуемости избранной концептуальной идеи продукта» как этап определения требуемых качеств продукции, но не предоставляет механизм распределения критериев качества по этапам разработки. Необходимость осуществления управления качеством в процессе создания продукта в соответствии с разбивкой разработки на этапы и закрепление критериев качества на каждом из них отмечается в работе [5].

Отдельным направлением исследований управления разработкой продукции можно выделить подходы по совмещению Agile-методов и методов управления качеством, к примеру, «дом качества» [6,7]. Предлагаемые методики позволяют производить более эффективное планирование разработкой новой продукции, обеспечить снижение затрат на выпуск пробных партий и уменьшить количество вносимых изменений в процессе вывода товара на рынок. В качестве недостатков методики можно выделить отсутствие учета взаимного влияния модификаций инновационной продукции и не-

возможность использования альтернативных подходов организации деятельности предприятия.

С учетом цифровизации и развития концепции Индустрия 4.0 авторы публикации [8] предлагают применять систему управления качеством процессов функционирования наукоемкого предприятия на основе жизненного цикла разработки и реализации инновационной продукции. В исследовании предложены общие показатели оценки качества процессов и порядок их расчета, включая оценку: несоответствия входов и выходов взаимосвязанных процессов; отклонения в процессах; ритмичности производства; надежности процессов и др. Предложенный в работе процессно-функциональный подход к управлению качеством предлагают общий подход, и авторы указывают на необходимость разработки конкретных механизмов управления. При этом целесообразность управления качеством проектирования и разработки новой продукции с учетом жизненного цикла и возможностью использовать инструменты оптимизации рассматривалась и ранее [9].

Анализ публикаций позволяет сделать вывод о возможности использования процессного подхода на различных этапах жизненного цикла как способа планирования качества разработки новой продукции.

ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ РАЗРАБОТКИ ЭКСТРУЗИОННЫХ 3D-ПРИНТЕРОВ

Ранее авторами представлена модель разработки инновационной продукции, построенная на базе процессного подхода и отличающаяся учетом обратных связей между этапами создания товара и взаимного влияния разрабатываемой продукции в рамках одного этапа [10]. Схематично модель представлена на рисунке 1.

Математическое представление модели оценки количества разрабатываемой продукции заданного качества, находящиеся на каждом этапе воронки, можно выразить (1):

$$S_n = \begin{cases} S_1, & n = 1; \\ S_1 + \sum_{i=1}^{n-1} (S_{i+1} - (K_i - M_i)), & n \geq 2; \end{cases} \quad (1)$$

где S_n – множество продуктов, находящихся в воронке на n -м этапе;

n – количество этапов воронки;

K_i – множество продуктов, неудовлетворяющих переходу на стадии i воронки и исключенных из нее или направленных для возврата на предыдущую стадию;

M_i – множество продуктов, вернувшихся на стадию i воронки;

Каждый продукт, находящийся в воронке,

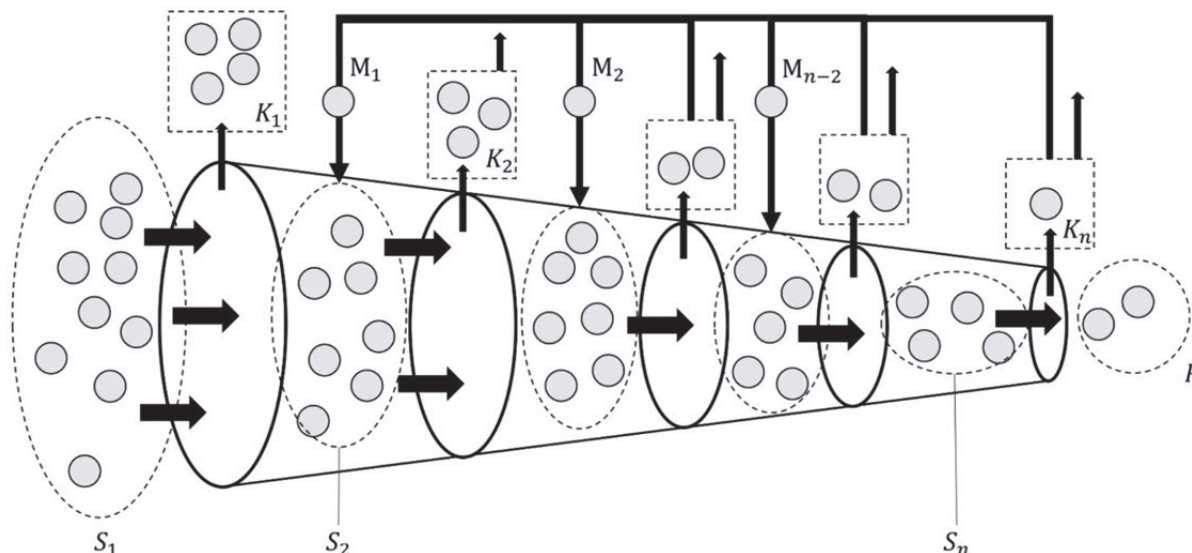


Рис. 1. Воронка разработки продукции заданного качества с обратными и внутренними связями

характеризуется множеством внутренних параметров качества X . По мере процесса разработки продукта внутри каждого этапа воронки осуществляется изменение значений параметров качества. При входе в воронку, переходе между этапами и выходе из воронки находятся барьеры для оценки параметров качества продукции X множеству требований Y каждого текущего и предыдущих барьеров. Множества X и Y имеют равную размерность. Выразим данное условие для внутренней продукции на этапе n (2):

$$x_i^{S_a} \geq y_i \quad (x_i^{S_a} \in X_{S_a}; y_i \in Y_n; \quad (2)$$

$$i = 1, 2, \dots, k; a = 1, 2, \dots, p),$$

где $x_i^{S_a}$ – i -й параметр множества $x_i^{S_a}$, характеризующего качество разработки s_a , являющейся элементом множества S_n , находящегося на этапе n ;

y_i – i -й параметр, являющийся элементом множества требований Y_n , характеризующего требование к качеству разработки барьера этапа n ;

p – количество разрабатываемой продукции на этапе n ;

k – количество параметров, характеризующие качество разработки продукции.

Переход между стадиями характеризуется изменением параметров качества. В случае использования промежуточных стадий разработки эффективно использовать уровни готовности технологий (TRL) в качестве одного из ключевых критериев определения оценки технологии для вывода на рынок [11, 12].

Данный подход в первую очередь позволит выстроить сквозную систему управления. Модель может быть адаптирована и применена для любой продукции в соответствии со следующей последовательностью:

Этап 1. Определить вектор показателей качества разработки продукции.

Этап 2. Определить возможные диапазоны значений векторов показателей качества разработки продукции, отобранные на этапе 1.

Этап 3. Определить количество этапов воронки разработки на основе анализа процессов рассматриваемого предприятия.

Этап 4. Разработать или подобрать механизмы взаимодействия между продукцией, находящейся на одном этапе (внутри множества S).

В качестве подобного механизма предлагается использовать подход анализа взаимовлияний разработок с помощью логистической модели (3), предложенной в работе [13]:

$$p_j = \left[1 + \frac{1-p_j^0}{p_j^0} \exp(-\sum_{k \neq j}^n c_{jk} p_k) \right]^{-1}, \quad (3)$$

где p_j – вероятность достижения показателем качества j -й разработки требуемого значения с учетом взаимного влияния результатов работы по остальным связанным разработкам;

p_j^0 – базовая вероятность достижения показателем качества j -й разработки требуемого значения;

p_k – базовая вероятность достижения показателем качества k -й разработки требуемого значения;

c_{jk} – коэффициент взаимовлияния k и j разработки;

n – количество разрабатываемой продукции.

Определяем экспертным путем вероятности $p(j|p_k=1)$ и $p(j|p_k=0)$ и находим c_{jk} , используя (4):

$$c_{jk} = \ln \frac{p(j|p_k=1)}{1-p(j|p_k=1)} - \ln \frac{p(j|p_k=0)}{1-p(j|p_k=0)}. \quad (4)$$

В качестве законов распределения для определения достигаемых показателей качества используем нормальный закон распределения.

Этап 5. Выбрать подход к оценке выполнения критериев для каждого из барьеров на основе действующей на предприятии стратегии функционирования и разработки. Первый подход («жесткий») заключается в установлении требуемых значений параметров качества, которые по итогу окончания каждого этапа разработки все должны быть выполнены. Таким образом, подход значительно уменьшает диаметр воронки и коэффициент переходов, но обеспечивает полное соответствие установленным показателям качества на выходе из воронки.

Альтернативой является «мягкий» подход, заключающийся в определении коэффициентов значимости каждого параметра качества разработки и формировании интегрального показателя. В результате при достижении продукции очередного барьера осуществляется сравнение фактического и требуемого интегрального показателя качества. Данный подход обеспечивает более высокую проходную способность разработок, но может приводить к перекосу в показателях качества на выходе из воронки.

Для повышения эффективности целесообразно для ранних этапов воронки использовать «мягкий» подход, а на более поздних «жесткий» с целью обеспечения соответствия всем требованиям качества без ограничений на ранних этапах.

Этап 6. Сформировать правила для возможности обратной связи между этапами разработки. Необходимо сформировать диапазон (в случае использования «мягкого» подхода) или диапазоны (в случае использования «жесткого» подхода) критериев показателей качества на каждом из барьеров.

Для выбора включаемых разработок из множества можно использовать алгоритм принятия решения о внедрении для промышленного предприятия [14].

Этап 7. Оценка полученной модели. Ключевой целью построения модели является определения показателей качества в процессе разработки. Для этой цели к предложенной воронке возможно использовать теорию массового обслуживания [15]. Рассмотрим процесс поступления и прохождения разработки в рамках этапов воронки согласно рис. 1.

Количество поступивших разработок в воронку (S_1) к моменту времени t будем рассматривать как стационарный поток и определим через (5):

$$S_1(t) = \lambda_1 t, \quad (5)$$

где λ_1 – интенсивность поступления разработок в воронку в единицу времени.

Так как каждая разработка $s_{1,j} \in S_1$ характеризуется X показателями качества, то для определения вероятности выполнения требований входного барьера Y_1 по каждому показателю воспользуемся нормальным распределением (6):

т.е. воспользуемся нормальным распределением (6):

$$P(x_{i,s_{1,j}} \geq y_{1,i}) = 1 - \left(\Phi\left(\frac{y_{1,i} - M_{1,i}}{\sqrt{M_{1,i}}}\right) - \Phi\left(\frac{0 - M_{1,i}}{\sqrt{M_{1,i}}}\right) \right), \quad (6)$$

где $x_{i,s_{1,j}}$ – значение i -го показателя качества $s_{1,j}$ разработки;

$y_{1,i}$ – значение требования к i -му показателю качества на входном барьере Y_1 ;

$M_{1,i}$ – среднее значение i -го показателя разработки на этапе S_1 . Определяется на основе статистических наблюдений.

В случае использования интегрального показателя качества, благодаря применению весовых коэффициентов по каждому показателю качества, выражение (6) будет являться показателем конверсии входного потока g_1 . Количество поступивших заявок на второй этап воронки S_2 к моменту времени t равен $S_{2, \text{вход}}(t) = S_1(t)g_1$, а интенсивность прибытия соответственно $\lambda_2 = \lambda_1 g_1$.

На втором (S_2) и последующих этапах воронки (до S_n) осуществляется процесс разработки и повышение ее качества. Будем рассматривать только положительное изменение показателей качества с течением времени. Каждый этап также может характеризоваться максимальным временем $T_{n, \text{макс}}$ обслуживания разработки, после которого осуществляется исключение из воронки.

Представим вероятность изменения показателя качества за единицу времени с помощью экспоненциального распределения и, учитывая взаимовлияния (3) других разработок, находящихся на рассматриваемом этапе воронки, получим (7):

$$P(x_{i,s_{n,j}} \geq y_{n,i}) = \left[1 - \left(e^{-\frac{1}{M_{n,i}} * x_{i,s_{n-1,j}}} - e^{-\frac{1}{M_{n,i}} * y_{n,i}} \right) \right] * \left[1 + \frac{1 - p_{S_{n,j}}^0}{p_{S_{n,j}}^0} \exp\left(-\sum_{k \neq j}^v c_{S_{n,j}, S_{n,k}} p_{S_{n,k}}^0\right) \right]^{-1}, \quad (7)$$

где $x_{i,s_{n,j}}$ – значение i -го показателя качества $s_{n,j}$ разработки;

$y_{n,i}$ – значение требования к i -му показателю качества барьера Y_n ;

$M_{n,i}$ – среднее значение i -го показателя разработки на этапе S_n . Определяется на основе статистических наблюдений;

$p_{S_{n,j}}^0$ – базовая вероятность достижения i -м показателем качества $s_{n,j}$ разработки требуемого значения без учета взаимовлияния;

v – количество взаимосвязанных разработок;

$c_{S_{n,j}, S_{n,k}}$ – коэффициент взаимовлияния $S_{n,j}$ и $S_{n,k}$ разработки.

Базовую вероятность без учета взаимовлияния $p_{s_{n,j}}^0$ определяем как (8):

$$p_{s_{n,j}}^0 = \left[1 - \left(e^{-\frac{1}{M_{n,i}} * X_{i,s_{n-1,j}}} - e^{-\frac{1}{M_{n,i}} * Y_{n,i}} \right) \right], \quad (8)$$

Таким образом получаем вероятность успешного достижения требований по показателю качества x_i разработки s_j этапа n за время $T_{n,макс}$ (9):

$$P(X_{i,s_{n,j}} \geq Y_{n,i}, T_{n,макс}) = P_1 + \sum_{l=1}^{T_{n,макс}-1} (\prod_{k=1}^l (1 - P_k) P_{l+1}), \quad (9)$$

Вероятность выполнения всех требований показателей качества разработки s_j этапа n к моменту времени составляет $T_{n,макс}$ (10):

$$P(X_{s_{n,j}} \geq Y_n, T_{n,макс}) = \prod_{i=1}^u P(X_{i,s_{n,j}} \geq Y_{n,i}, T_{n,макс}) = g_n, \quad (10)$$

где u – общее количество показателей качества разработки.

Формула (10) также характеризует конверсию этапа n воронки разработки (g_n), учитывая неограниченность каналов обслуживания. Аналогично (7-10) найдем вероятность попадания всех показателей качества разработки в диапазон требований для возврата на один из предыдущих этапов воронки за максимальное допустимое время нахождения разработки на этапе (11):

$$P(Y_{n,мин} > X_{s_{n,j}} > Y_n, T_{n,макс}) = P(X_{s_{n,j}} \geq Y_{n,мин}, T_{n,макс}) - P(X_{s_{n,j}} \geq Y_n, T_{n,макс}) = g_{n,взр}. \quad (11)$$

Соответственно общая вероятность недостижения требуемых показателей качества и исключения из воронки на этапе n составляет $g_{n,w} = 1 - g_n - g_{n,взр}$. В общем случае вероятность возврата на n - z ($z \in [1; n-1]$) стадий будем считать заданной распределением Пуассона с математическим ожиданием равным 1 – возврат на предыдущую стадию. Тогда вероятность возврата на z стадий равна (12):

$$P(z) = \begin{cases} 0, & z < 0 \\ \frac{e^{-1}}{z!}, & 0 \leq z < n \\ 0, & z \geq n \end{cases}, \quad (12)$$

При ограничениях на одновременное обслуживание разработок требуется ввести условия по максимальной загрузке каждого этапа $I_{n,макс}$, характеризующие количество соответствующих подразделений или персонала, одновременно занимающихся разными проектами.

Предложенная модель и формулы расчетов позволяют оценить распределение разработок по стадиям воронки разработки и организовать их работу для повышения эффективности, включая поиск оптимального количества этапов разработки, максимальное время нахождения на этапе, количество подразделений разработки и требования к переходу разработки на следующий уровень.

АПРОБАЦИЯ МОДЕЛИ

Проведение расчетов производилось с использованием программного обеспечения AnyLogic на основе разработанной математической модели, включая задание вероятностей перехода, повышения качества разработки в соответствии с (3-12). Используемые данные для расчетов предоставлены компанией ООО «Компания ИМПРИНТА», которая занимается разработкой, продажей и реализацией 3D-принтеров с 2013 года. В компании процесс разработки экструзионного 3D-принтера включает 5 этапов: выработка и отработка идеи, разработка рабочей камеры 3D-принтера, разработка экструдера, разработка электроники 3D-принтера, отработка прототипа. На основе этого был сформирован интерфейс модели, представленный на рис. 2.

На основе анализа деятельности компании ООО «Компания ИМПРИНТА» и опроса ключевых сотрудников, занимающихся разработкой и принятием решений, были получены входные параметры работы модели. В качестве рассматриваемого показателя качества Y был выбран интегральный показатель, характеризующий степень выполнения плана разработки, включая достижения всех технико-экономических характеристик 3D-принтера.

В табл. 1 представлены минимальные значения $Y_{мин}$ в начальное время, ожидаемое входное значение на каждом этапе процедуры разработки модели принтера и математическое ожидание этой величины. Время $T_{макс}$ успешного достижения требований по показателю качества в месяцах реализации. Максимальное число $I_{макс}$ разработок, находящихся на соответствующем этапе.

Коэффициент взаимовлияния C_{ij} определяется случайным образом для каждой разработки, используя нормальное распределение, в пределах от 0 до 0,6. Максимальное значение диапазона было получено путем опроса 6 инженеров компании. Скорость входного потока разработок (λ) составило 0,95 штук в месяц.

В результате моделирования в течение 93 месяц (t) был получен график общего количества разработок, поступивших на каждую стадию (рис. 3). Анализ показал, что на третий этап воронки поступило больше проектов, чем на второй. Связано это с обратным потоком от тре-

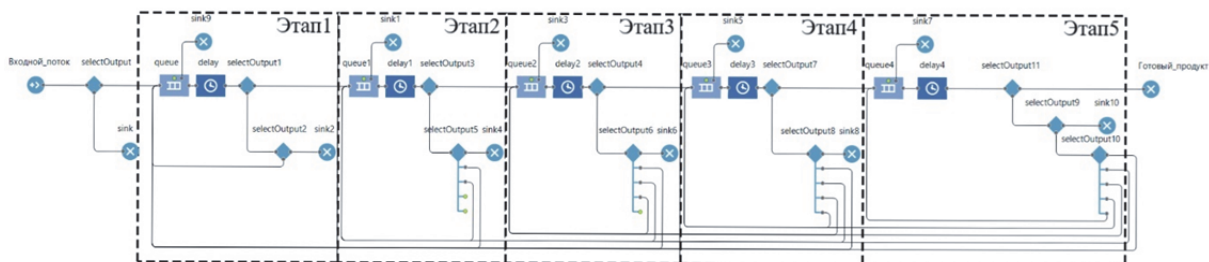


Рис. 2. Модель воронки разработки экструзионных 3D-принтеров

Таблица 1. Входные показатели модели

Показатель минимального требования к интегральному показателю качества n-го барьера	Значение	Показатель математического ожидания интегрального показателя качества на n-м этапе	Значение	Показатель требования к интегральному показателю качества n-го барьера	Значение
$Y_{0,мин}$	0,00	M_0	0,08	Y_0	0,1
$Y_{1,мин}$	0,07	M_1	0,128	Y_1	0,165
$Y_{2,мин}$	0,116	M_2	0,284	Y_2	0,35
$Y_{3,мин}$	0,245	M_3	0,426	Y_3	0,56
$Y_{4,мин}$	0,392	M_4	0,671	Y_4	0,78
$Y_{5,мин}$	0,546	M_5	0,859	Y_5	1
Показатель максимального количества месяцев до успешного достижения требований по интегральному показателю качества n-го барьера	Значение	Показатель максимального числа разработок находящихся на n-м этапе	Значение		
$T_{1,макс}$	2	$I_{1,макс}$	2		
$T_{2,макс}$	4	$I_{2,макс}$	3		
$T_{3,макс}$	4	$I_{3,макс}$	3		
$T_{4,макс}$	4	$I_{4,макс}$	4		
$T_{5,макс}$	5	$I_{5,макс}$	4		

тьего и последующих этапов (было возвращено 16 проектов или 41% от всего обратного потока).

Анализ оттока из воронки (рис. 4) показал значительные потери на втором этапе, связанные с нехваткой сотрудников для обслуживания всех разработок. В результате данные потери составили 43 разработки.

По итогу работу модели на выходе было получено 14 разработок, которые успешно прошли контроль качества на каждом этапе воронки, что соответствует фактическому результату деятельности ООО «Компания ИМПРИНТА» за рассматриваемый период, включая выпуск всех моделей и модификаций

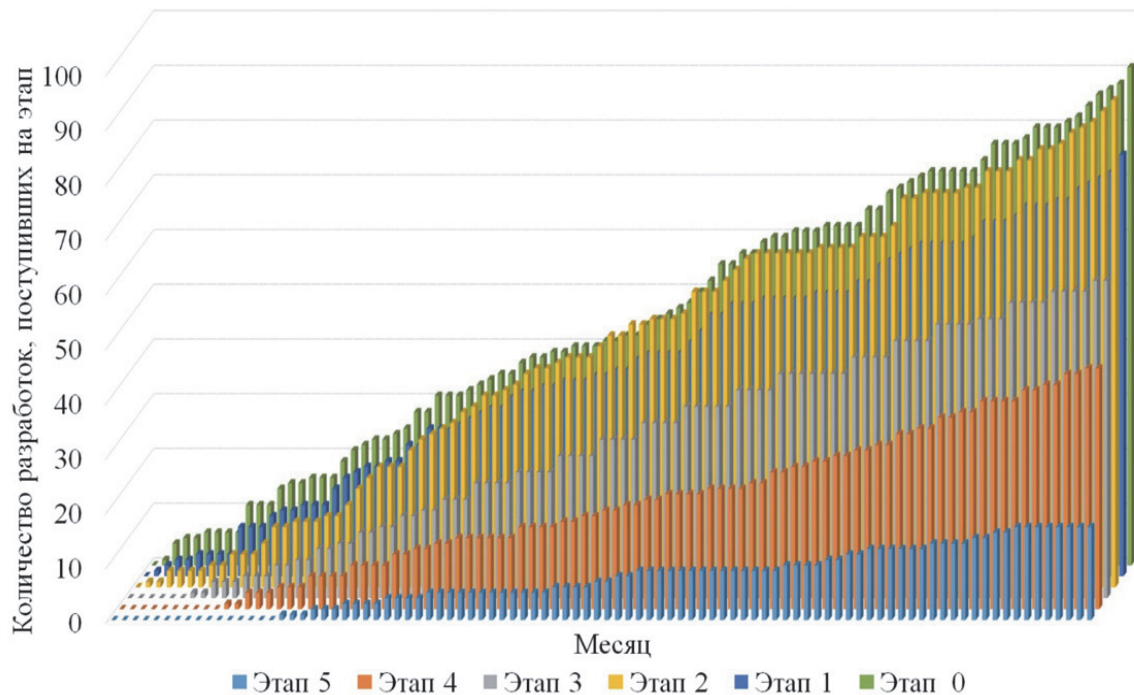


Рис. 3. Количество разработок, поступивших к моменту времени t на этап воронки

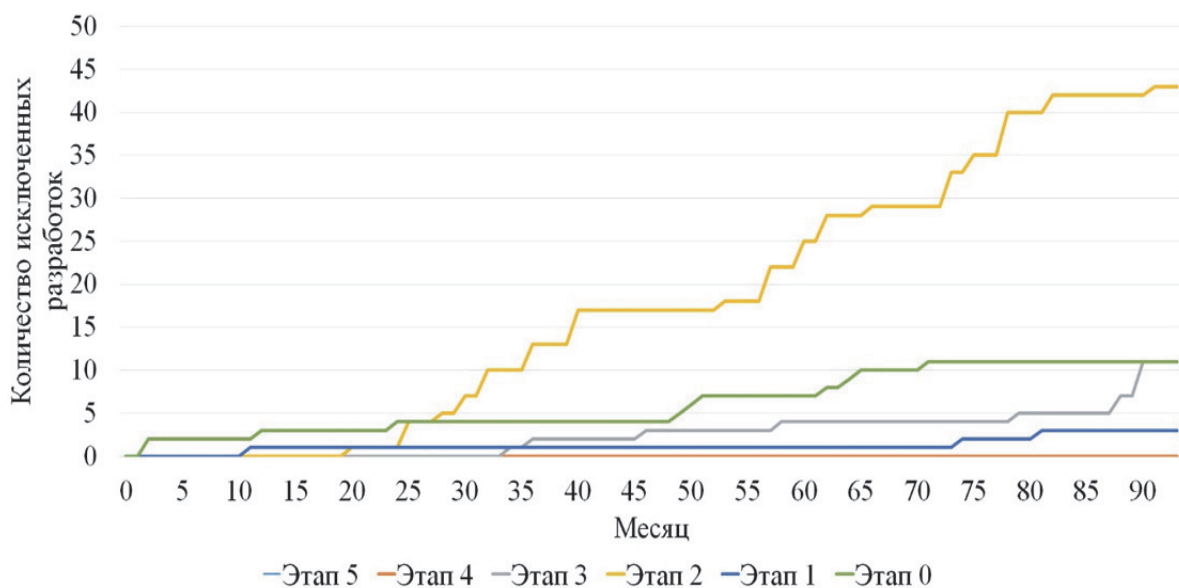


Рис. 4. Количество разработок, исключенных из воронки, на каждом из этапов

3D-принтеров. Можно сделать вывод об адекватности модели.

Далее рассмотрим возможность оптимизации действующей структуры организации разработок 3D-принтеров в ООО «Компания ИМПРИНТА». Предложим 2 ключевых направления оптимизации:

- снижение количества исключенных проектов путем подбора требуемой минимальной загрузки каждого этапа и максимального времени нахождения разработки на этапе;
- повышение количества успешных разработок путем подбора минимальных требований к

каждому этапу и интенсивности поступающих разработок на входе в воронку.

Для оптимизации процесса создания новой продукции будем использовать встроенный оптимизационный модуль AnyLogic. При решении первой задачи удалось снизить количество исключенных разработок на 30%, внося следующие изменения (табл. 2).

Данная оптимизация позволила также снизить максимальное время работы с каждой разработкой путем перераспределения ресурсов между этапами.

Таблица 2. Изменения входных показателей модели для Задачи 1

Показатель	Старое значение	Новое значение	Изменение
$T_{2, \text{макс}}$	4	5	+1
$T_{3, \text{макс}}$	4	1	-3
$T_{4, \text{макс}}$	4	1	-3
$T_{5, \text{макс}}$	5	3	-2
ИТОГО			-7
$I_{2, \text{макс}}$	3	5	+2
$I_{3, \text{макс}}$	3	4	+1
$I_{4, \text{макс}}$	4	1	-3
ИТОГО			0

Таблица 3. Изменения входных показателей модели для Задачи 2

Показатель	Старое значение	Новое значение	Изменение
$Y_{1, \text{мин}}$	0,07	0,05	-0,02
$Y_{2, \text{мин}}$	0,116	0,101	-0,015
$Y_{5, \text{мин}}$	0,245	0,27	+0,025
$Y_{4, \text{мин}}$	0,392	0,412	+0,02
$Y_{5, \text{мин}}$	0,546	0,59	+0,044
λ	0,951	1,651	+0,70

Рассмотрим результаты оптимизации для второй задачи. Возможный диапазон значений для каждого $Y_{n, \text{мин}}$ лежит в диапазоне $Y_{n-1} < Y_{n, \text{мин}} < Y_n$. Максимальный входной поток (λ), который может обеспечить компания составил не более 2. Результаты изменения входных значений представлено в табл. 3.

В результате оптимизации удалось увеличить количество успешных разработок на 3 единицы (на 21%), что представлено на рис. 5.

Однако данные изменения привели к увеличению количества исключенных разработок более чем в 3 раза, поэтому практическое внедрение полученных результатов требует дополнительного изучения совместно с традиционными методами организации и управления промышленным предприятием.

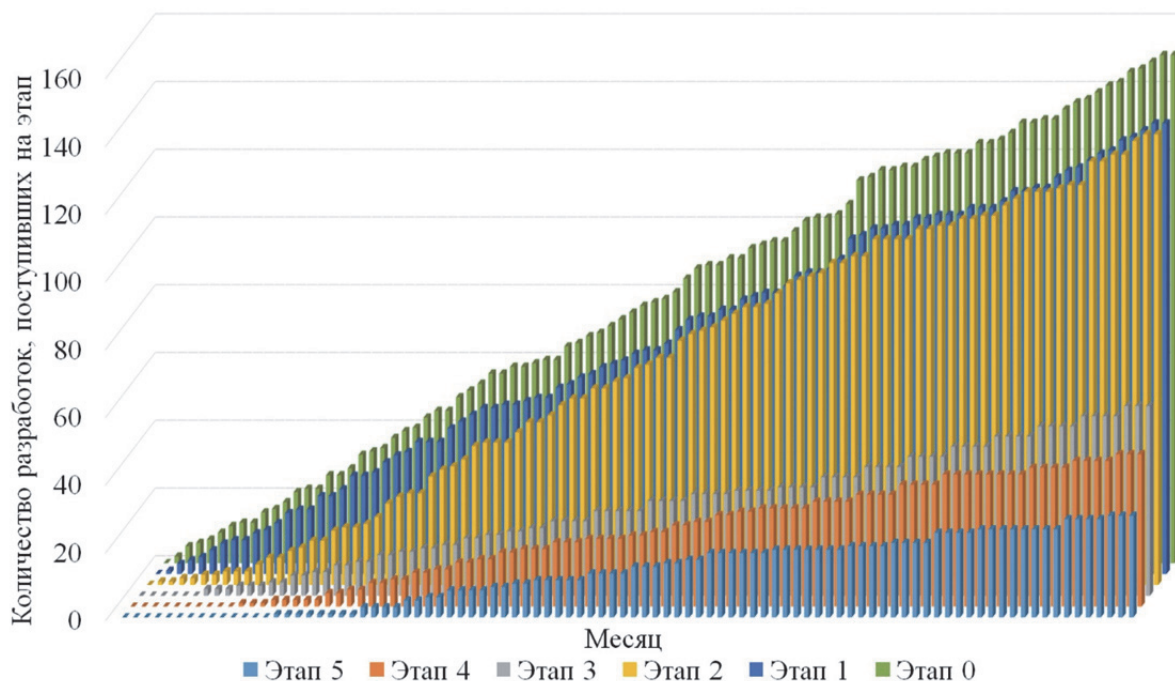
ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная модель может рассматриваться как инструмент для принятия управ-

ленческих решений по выбору наиболее оптимальной структуры процесса разработки инновационной продукции по ряду параметров.

Результаты апробации модели на примере разработчика и производителя экструзионных 3D-принтеров ООО «Компания ИМПРИНТА» подтвердили ее практическую значимость и возможность применения для повышения эффективности системы планирования и организации разработки новых моделей изделий. В частности, были полученные результаты, подтверждающие возможность пересмотра организационной структуры разработки и требований к качеству разрабатываемой продукции на каждом из этапов воронки разработки.

Применение модели совместно с инструментами имитационного моделирования гарантирует определение достаточного количества этапов и требований к процессу разработки и позволяет формировать систему контроля новой продукции.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколова, А.П. Инновации в современном мире как источник развития экономики / А.П. Соколова // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2019. – № 8-2. – С. 182-190.
2. Клочков, Ю.С. Трансформация структуры производственной себестоимости на промышленном предприятии в процессе интеграции аддитивных технологий / Клочков Ю.С., Конников Е.А. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2019. – Т.21. – № 1. – С. 5-10.
3. Кузнецов, В.П. Изучение решений по развитию продукта в промышленности / В.П. Кузнецов, Е.П. Гарина // Вестник Нижегородского университета им Н.И. Лобачевского. – 2013. – № 3. – С. 5-10.
4. Пантелеева, К.О. Процессуальные и организационные основы планирования нового продукта на предприятии / В.П. Кузнецов, Е.П. Гарина // Вестник СГТУ. – 2013. Т. 3. – № 1(72). – С. 278-284.
5. Андрияшина, Н.С. Современные подходы к созданию нового продукта в машиностроении / Н.С. Андрияшина // Вестник Мининского университета. – 2014. – № 1(5). – С. 1.
6. Искандерова, Т.А. Технологии разработки новых видов продуктов / Т.А. Искандерова // Вестник Российского университета кооперации. – 2021. – №3(45). – С. 18-23.
7. Ильдеменов, С.В. Использование проектного управления для создания нового продукта/услуги с максимизированной потребительской ценностью / С.В. Ильдеменов, Р.И. Кутлахметов // Управленческие науки. – 2017. – Т.7. – № 3. – С. 89-99.
8. Каблашова, И.В. Методология управления качеством процессов на основе цифровых стандартов деятельности наукоемкого предприятия / И.В. Каблашова, И.В. Логунова, К.С. Кривякин, В.Н. Родионова // Организатор производства. – 2021. – Т.29. – № 1. – С. 7-20.
9. Артамонов, Е.В. Методика оценки качества процессов проектирования сложных технических устройств / Е.В. Артамонов, Д.С. Василега, А.М. Тверяков // Омский научный вестник. – 2013. – №3. – С. 87-91.
10. Цыганков, Н.С. Модель управления воронкой коммерциализации инноваций / Н.С. Цыганков, А.Э. Петрунина, А.К. Москалев // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Естественные и технические науки». – 2022. – № 4. – С. 137-144.
11. Kalashnikova, O.V. The level of generalized technology readiness of the Smart House automation systems / O.V. Kalashnikova, A.E. Petrunina, N.S. Tsygankov, A.K. Moskaev // IOP conference series: materials science and engineering. – 2019. – № 666. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/666/1/012063/pdf> (дата обращения 08.05.2022).
12. Калашникова, О.В. Оценка уровня готовности технологии многофункциональных устройств автоматизации помещений / О.В. Калашникова, Н.С. Цыганков, А.Э. Петрунина, А.К. Москалев // Инновации. – 2020. – № 5(259). – С.98-104.
13. Топка, В.В. Расширенная модель инновационного проекта при бинарном взаимодействии его работ / В.В. Топка // Проблемы управления. – 2019. – № 3. – С. 22-29.
14. Кудрявцева, А.С. Алгоритм оценки и выбора инноваций для предприятия / А.С. Кудрявцева // Онтология проектирования. – 2021. – Т.11. – № 3(41). – С. 364-381.
15. Sergeev, S. Information support for trade with the use of a conversion funnel / S. Sergeev, T. Kirillova // IOP conference series: materials science and engineering. – 2019. – № 666. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/666/1/012064/pdf> (дата обращения 08.05.2022).

MODEL FOR ORGANIZATION DEVELOPMENT OF EXTRUSION 3D PRINTERS

© 2022 N. S. Tsygankov, A. K. Moskaev

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

A model of innovative product development based on a process approach and characterized by taking into account feedbacks between the stages of product creation and the mutual influence of the products being developed within one stage is presented. Each product is characterized by a variety of internal quality parameters X . As the product development process progresses, the values of quality parameters are changed within each stage. At the entrance, the transition between stages and the exit from the funnel, there are barriers to assessing the quality parameters of X products. The proposed model and calculation formulas make it possible to organize work to improve the efficiency of the product creation process, in particular, to assess the distribution of developments by stages, including the search for the optimal number of stages, the maximum period of finding and requirements for the transition of development to the next stage. On the basis of this mathematical model, using AnyLogic software, calculations of the dynamics of the passage of the product at each stage of development were carried out. The process of developing an extrusion 3D printer includes 5 stages: development and development of an idea, development of a 3D printer working chamber, development of an extruder, development of 3D printer electronics, prototype development. The initial data for the calculations were provided by the LLC "Company IMPRINTA", which is engaged in the development, manufacture and sale of Hercules brand 3D printers. As a result of the simulation, a graph of the total number of developments received at each stage was obtained. To optimize the process of creating new products, the corresponding AnyLogic module was used. The possibilities of optimizing the current structure of the organization of 3D printer development in the LLC "Company IMPRINTA" are considered. Two directions of optimization are proposed: reducing the number of excluded projects by selecting the required minimum load of each stage and the maximum time spent on the development stage; increasing the number of successful developments by selecting the minimum requirements for each stage and the intensity of incoming developments at the entrance to the funnel. It was possible to reduce the number of excluded developments by 30%.

Keywords: quality, management, organization of production, products, process, mathematical model, innovation, 3D printer, development, innovation funnel.

DOI: 10.37313/1990-5378-2022-24-4-87-96

REFERENCES

1. Sokolova, A.P. Innovacii v sovremennom mire kak istochnik razvitiya ekonomiki / A.P. Sokolova // Vestnik Altajskoy akademii ekonomiki i prava. – 2019. – № 8-2. – S. 182-190.
2. Klochkov, Yu.S. Transformaciya struktury proizvodstvennoj sebestoimosti na promyshlennom predpriyatii v processe integracii additivnyh tekhnologij / Klochkov Yu.S., Konnikov E.A. // Izvestiya Samarского nauchnogo centra Rossijskoy akademii nauk. – 2019. – T.21. – № 1. – S. 5-10.
3. Kuznecov, V.P. Izuchenie reshenij po razvitiyu produkta v promyshlennosti / V.P. Kuznecov, E.P. Garina // Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im N.I. Lobachevskogo. – 2013. – № 3. – S. 5-10.
4. Panteleeva, K.O. Processual'nye i organizacionnye osnovy planirovaniya novogo produkta na predpriyatii / V.P. Kuznecov, E.P. Garina // Vestnik SGTU. – 2013. T. 3. – № 1(72). – S. 278-284.
5. Andryashina, N.S. Sovremennye podhody k sozdaniyu novogo produkta v mashinostroenii / N.S. Andryashina // Vestnik Mininskogo universiteta. – 2014. – № 1(5). – S. 1.
6. Iskyanderova, T.A. Tekhnologii razrabotki novyh vidov produktov / T.A. Iskyanderova // Vestnik Rossijskogo universiteta kooperacii. – 2021. – №3(45). – S. 18-23.
7. Il'demenov, S.V. Ispol'zovanie proektnogo upravleniya dlya sozdaniya novogo produkta/uslugi s maksimizirovannoj potrebitel'skoj cennost'yu / S.V. Il'demenov, R.I. Kutlahmetov // Upravlencheskie nauki. – 2017. – T.7. – № 3. – S. 89-99.
8. Kablashova, I.V. Metodologiya upravleniya kachestvom processov na osnove cifrovyyh standartov deyatel'nosti naukoemkogo predpriyatiya / I.V. Kablashova, I.V. Logunova, K.S. Krivyakin, V.N. Rodionova // Organizator proizvodstva. – 2021. – T.29. – № 1. – S. 7-20.
9. Artamonov, E.V. Metodika ocenki kachestva processov proektirovaniya slozhnyh tekhnicheskikh ustrojstv / E.V. Artamonov, D.S. Vasilega, A.M. Tveryakov // Omskij nauchnyj vestnik. – 2013. – №3. – S. 87-91.
10. Cygankov, N.S. Model' upravleniya voronkoj kommercializacii innovacij / N.S. Cygankov, A.E. Petrunina, A.K. Moskaev // Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya «Estestvennye i tekhnicheskie nauki». – 2022. – № 4. – С. 137-144.
11. Kalashnikova, O.V. The level of generalized technology readiness of the Smart House automation systems / O.V. Kalashnikova, A.E. Petrunina, N.S. Tsygankov, A.K. Moskaev // IOP conference series: materials science and engineering. – 2019. – № 666. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/666/1/012063/pdf> (data obrashcheniya 08.05.2022).
12. Kalashnikova, O.V. Ocenka urovnya gotovnosti tekhnologii mnogofunktional'nyh ustrojstv avtomatizacii pomeshchenij / O.V. Kalashnikova, N.S. Cygankov, A.E. Petrunina, A.K. Moskaev // Innovacii. – 2020. – № 5(259). – S.98-104.
13. Topka, V.V. Rasshirennaya model' innovacionnogo projekta pri binarnom vzaimodejstvii ego rabot / V.V. Topka // Problemy upravleniya. – 2019. – № 3. – S. 22-29.
14. Kudryavceva, A.S. Algoritm ocenki i vybora innovacij dlya predpriyatiya / A.S. Kudryavceva // Ontologiya proektirovaniya. – 2021. – T.11. – № 3(41). – S. 364-381.
15. Sergeev, S. Information support for trade with the use of a conversion funnel / S. Sergeev, T. Kirillova // IOP conference series: materials science and engineering. – 2019. – № 666. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/666/1/012064/pdf> (data obrashcheniya 08.05.2022).

Nikita Tsygankov, Senior Lecturer at the Experimental Physics and Innovative Technologies Department Department. E-mail: cyganikita@yandex.ru
Alexander Moskaev, Candidate of Physics and Mathematics, Professor at the Experimental Physics and Innovative Technologies Department. E-mail: ak_moskaev@mail.ru