

Управление организацией производства инновационной продукции при изменяющихся требованиях конечного пользователя

Management of the organization of production of innovative products with changing user requirements



Н. С. Цыганков,

к. т. н., доцент, кафедра экспериментальной физики и инновационных технологий, Институт инженерной физики и радиоэлектроники, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск
✉ cyganikita@yandex.ru

N. S. Tsygankov,

candidate of technical sciences, assistant professor, department of experimental physics and innovation, Institute of engineering physics and radioelectronics, Siberian federal university



А. К. Москалев,

к. ф.-м. н., доцент, кафедра экспериментальной физики и инновационных технологий, Институт инженерной физики и радиоэлектроники, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск
✉ ak_moskalev@mail.ru

A. K. Moskalev,

candidate of physical and mathematical sciences, assistant professor, department of experimental physics and innovation, Institute of engineering physics and radioelectronics, Siberian federal university



И. Л. Туккель,

д. т. н., профессор, заслуженный деятель науки РФ, Высшая школа проектной деятельности и инноваций в промышленности, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург
✉ tukkel@mail.ru

I. L. Tukkel',

doctor of technical sciences, professor, Higher school of projecting and industrial innovation, Peter the Great St. Petersburg polytechnic university

Большинство компаний, вне зависимости от специфики деятельности, понимают, что единственный способ обеспечения непрерывного конкурентного преимущества — это постоянное создание и вывод на рынок инновационной продукции. Однако при реализации процессов создания новой продукции компании сталкиваются с проблемами в прогнозировании и стратегическом планировании, так как рынки инновационной продукции характеризуются различного рода неопределенностями и рисками, многие из которых являются неконтролируемыми.

Целью настоящего исследования является изучение влияния изменяющихся требований конечных пользователей к техническим и экономическим параметрам создаваемой продукции. Данное влияние проявляется по-разному в зависимости от стадии жизненного цикла взаимосвязанных инновационных продуктов одного назначения.

Авторами предложена математическая модель каскадной диффузии, учитывающая указанную выше взаимосвязь, а также вовлеченность конечного пользователя к требованиям качества в процесс разработки новой продукции.

Предложенная модель позволяет повысить эффективность управления инновационными процессами, формируя стратегию планирования и запуска разработки новой продукции требуемого качества в сложных организационных системах и предвосхищая возможные будущие потребности рынка.

Верификация и валидация найденных теоретических решений выполнена на результатах организации производства 3D-принтеров и реализации этой продукции одним из ведущих отечественных предприятий.

Most companies, regardless of the specifics of their activities, understand that the only way to ensure continuous competitive advantage is the constant creation and launch of innovative products on the market. However, when implementing the processes of creating new products, companies face problems in forecasting and strategic planning, since the markets of innovative products are characterized by various kinds of uncertainties and risks, many of which are uncontrollable. Quite a large number of works have been devoted to the development of mathematical models for the commercialization of new products. Many of them aim to concretize and expand the mathematical the Bass' model, introducing new variables into it. The influence of various marketing factors determining the behavioral characteristics of consumers on the diffusion of innovations is studied.

The purpose of this study is to study the impact of changing consumer requirements on the technical and economic parameters of the products being created. This influence manifests itself in different ways depending on the stage of the life cycle of interrelated innovative products.

The authors propose a mathematical model of cascade diffusion, taking into account the above relationship, as well as the degree of consumer involvement in the development process and the rate of change in the quality requirements of the final product.

The model obtained by the authors makes it possible to increase the efficiency of planning the innovation process, using a formed strategy for developing new products of the required quality

The verification of the theoretical approach was carried out with the involvement of the actual results of the process of creating 3D printers and the sale of these products by one of the leading domestic manufacturers.

Ключевые слова: управление, сложные организационные системы, требования покупателя, инновационная продукция, математическая модель каскадной диффузии.

Keywords: quality, management, innovation process, diffusion, innovation, mathematical model.

Введение

В основе значительного числа современных исследований в области планирования технико-экономических параметров новой продукции, включая определение объема продаж, как правило, лежит теория Эверта Роджерса, который предложил дифферен-

циацию потребителей инновационной продукции на пять базовых групп: новаторы, ранние последователи, раннее большинство, позднее большинство и отстающие [1, 2].

Позднее данная теория легла в основу математической модели, предложенной Ф. Бассом. В отличие от Э. Роджерса, он предложил выделять всего две кате-

гории потребителей по принципу отношения к новым продуктам — новаторов и имитаторов. К факторам, обуславливающим скорость вывода новой продукции на рынок, Басс относил не только межличностные коммуникации, но и рекламу. В своей работе [3] он показал, что разработанная модель носит универсальный характер, то есть вне зависимости от специфики продукции, а значит и параметров модели, кривая зависимости объемов продаж от времени всегда будет «колоколообразной», подобной графику нормального распределения.

Дальнейшее развитие этой теории нашло отражение в работе [4], где введено понятие разрыва или пропасти в принятии и распространении новых технологий.

По результатам проведенного анализа ряда эмпирических данных по продажам новой продукции, в основном относящейся к категории электроники, авторами [5] было установлено, что практически в половине всех случаев на кривой продаж наблюдается момент спада объемов до 20% от начального пика, которые в краткосрочной перспективе вновь восстанавливаются до прежних объемов и даже превышают его. Этот феномен получил название «седло». Данное исследование подтвердило наличие двух крупных рынков потребителей: новаторов и последователей, разрыв между которыми и вызывает снижение объемов продаж, а также указало на влияние двух и более разработок друг на друга в зависимости от их параметров.

Разработке математических моделей коммерциализации новой продукции посвящено достаточно большое количество работ. Многие из них ставят своей целью конкретизировать и расширить математическую модель Басса, вводя в нее новые переменные.

Так, в работе [6] предложена модифицированная математическая модель Басса, позволяющая отразить распространение новой продукции в регионах России на примере сотовой связи. Полученная модель позволила сделать вывод, что скорость вывода на рынок определяется способами распространения информации о новых продуктах и максимальной емкостью рынка. Однако, как отмечают сами авторы, модель дает хорошие результаты аппроксимации при анализе подрывных инноваций, но с помощью данной модели невозможно оценить изменение скорости в результате выхода на рынок улучшающих (поддерживающих) инноваций. Предложенная модель не позволяет использовать ее в целях стратегического планирования портфеля продуктов. Описанные коллизии подчеркиваются и инструментами теории сложных организационных систем [7, 8]. Современные инструменты моделирования позволяют строить имитационные модели разработки новой продукции, в наибольшей степени отвечающие реальным условиям. Так, в работе [9] построена имитационная модель на основе модели Басса в программной среде AnyLogic. Основные параметры, определяющие скорость вывода на рынок — это эффективность рекламы и сила убеждения покупателя, уже воспользовавшегося товаром, при общении с потенциальным покупателем. Данные параметры задаются как постоянные величины, и

определяются экспертным путем. Данная модель позволяет исследовать зависимость между затратами на рекламу и скоростью коммерциализации с целью ее дальнейшей оптимизации. Однако в данной модели также не учтено влияние выхода на рынок поддерживающих инноваций.

Подобного рода задача решается в работе [10], где основная цель исследования — получить математическую модель для оценки ожидаемого дисконтированного денежного потока от реализации инноваций за весь период жизненного цикла. При этом оценивается взаимное влияние базовой и улучшающей инноваций, что позволяет объяснить процессы ухода товаров с рынка в результате выхода модификации. Но, как отмечается, модель имеет достаточно обобщенный вид и не включает в себя важные параметры, количественно выражающих факторы стимулирования инновационных процессов.

Иной подход предложен в работе [11, 12], где имитационная модель строится на экономическом аналогии, а именно на аналогии между процессами распространения инноваций, которая описывается законами Фика. На основе данной аналогии получена математическая модель коммерциализации инноваций, в которой определяющим фактором является коэффициент диффузии. Такая модель позволяет учесть взаимное влияние базовых и улучшающих инноваций при выводе их на рынок, а также планировать момент их запуска, что позволяет использовать ее в стратегическом управлении портфелем проектов компании, как сложной организационной системой.

Метод определения технико-экономических параметров продукции

Как было показано выше большинство моделей прогнозирования объема продаж новой продукции на рынке различаются подходами, объясняющими поведение конечных пользователей. Наибольшее распространение получили модели, где принятие продукта различными категориями потребителей подчиняется экспоненциальному закону (так называемые S-образные кривые). Доказательства такой обобщенной закономерности приведены в значительном количестве публикаций, к примеру [2-5, 13-15].

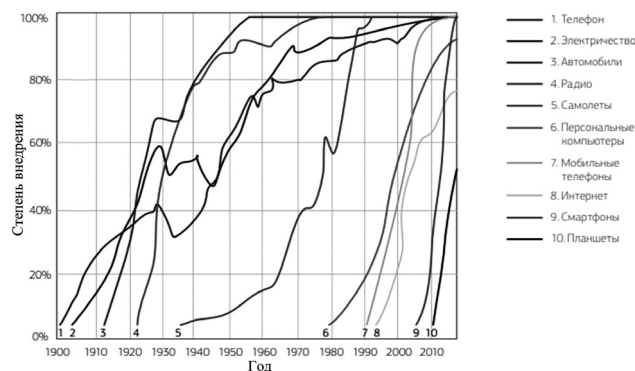


Рис. 1. График внедрения ряда значимых потребительских технологий за 110 лет [14]

При формировании цифровой модели процесса распространения инноваций целесообразней говорить о информационно-диагностическом типе модели, позволяющей обеспечивать мониторинг, сортировку, адаптацию, анализ отклонений, сбоев и нестандартного поведения процесса, то есть необходимости создания цифровой тени для предиктивной аналитики [16]. Для построения подобных моделей требуется использовать методы системного подхода и оптимизационного моделирования [17].

Реализация изделий, основанных на новых технологиях [18] показывает, что на фоне роста продаж имеются периоды спада. Данное изменение имеет форму «седла», подобное которому представлено на рис. 1, указывает, что развитие любой технологии имеет схожий характер, который связан с несколькими факторами:

- увеличение скорости распространения информации за счет развития ИТ;
- снижение стоимости технологий;
- увеличение степени автоматизации производства;
- размер компании, которая занимается разработкой новой продукции;

- уровень конкуренции в отрасли;
- темп роста компании;
- межфирменное партнерство и сотрудничество;
- стоимость использования технологии;
- технико-экономические показатели изделий, формируемых по технологии;
- человеческий капитал.

В рамках исследования предложен метод определения требований технико-экономических параметров качества разрабатываемой новой продукции. В основе метода лежит математическая модель оценки накопительного объема продаж различных модификаций новой продукции в зависимости от времени их выпуска, объявления о выпуске, а также технических характеристик данной продукции.

Модель имеет следующий вид:

$$Y_t = V_0 \left(1 + \frac{\exp(p_0 - r_0 t)}{k_0} \right)^{-1} + \sum_{i=1}^n V_i \left(1 + \frac{\exp(p_i - r_i t)}{k_i} \right)^{-1} \times \begin{cases} \text{если } (1+h_i), (p_{i+1}-S > p_i+R \geq t \geq p_i) \\ \text{если } (1-h_i), (p_{i+1}-S \leq t \leq p_{i+1}) \\ \text{если } 1, (p_{i+1}-S > t > p_i+R) \text{ or } t > p_i, \end{cases} \quad (1)$$

где $Y(t)$ — накопительный объем продаж (в шт. или денежном выражении) всех модификаций продукта в момент времени t (день, месяц, квартал, год); V_i — реально достижимый объем рынка i -й модели продукта (SOM), млн руб. или в натуральном выражении; p_i — время начала продаж i -й модели продукта от начала отсчета (день, месяц, квартал, год); r_i — коэффициент диффузии i -й модели продукта, безразмерная величина; r_0 — коэффициент диффузии базового продукта, безразмерная величина; t — временной период (день, месяц, квартал, год); k_i — коэффициент (%), характеризующий кривизну скорости распространения i -й модели продукции, измеряется в безразмерных единицах, умноженных на время (день, месяц, квартал, год); k_0 — коэффициент (%), характеризующий кривизну скорости распространения базовой продукции, измеряется в безразмерных единицах, умноженных на время (день, месяц, квартал, год); h_i — коэффициент, характеризующий плановое отставание текущей модели продукции по сравнению со следующей по техническим параметрам и цене; S — время уведомления о выходе следующей модели продукта относительно плановой даты выпуска (день, месяц, квартал, год относительно начала анализируемого периода); R — срок повышенного спроса на продукцию в соответствии с соотношением цены и качества (дней, месяцев, кварталов, лет).

Метод определения требований технико-экономических параметров качества применительно к организации производства и продажам экструзионных 3D-принтеров заключается в последовательном выполнении десяти шагов.

Блок-схема алгоритма метода представлена на рис. 2.

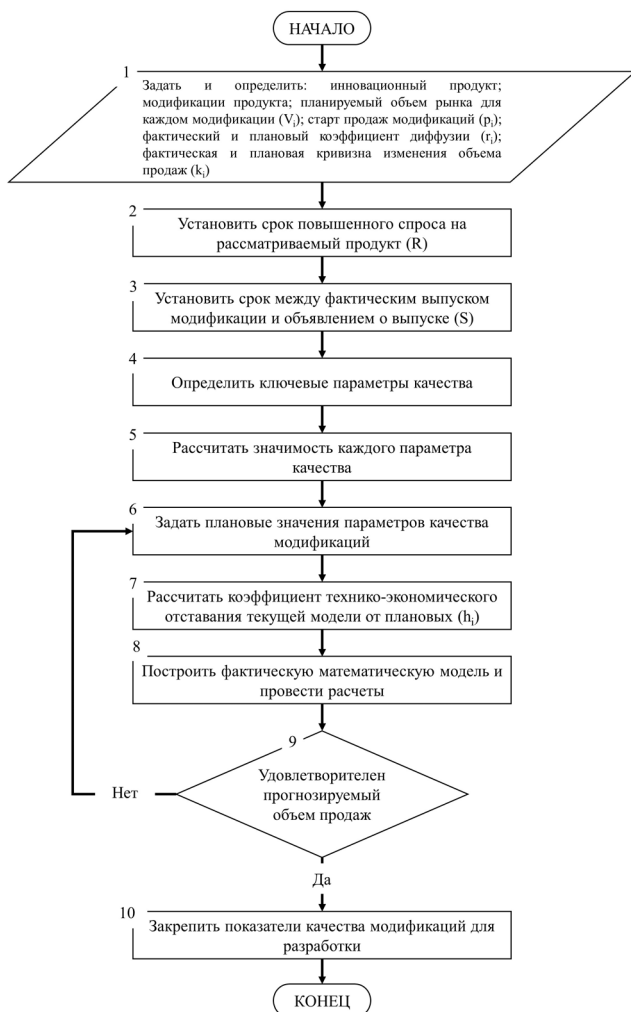


Рис. 2. Алгоритм определения технико-экономических параметров качества 3D-принтеров

На первом шаге определяем анализируемую модель 3D-принтера и его модификации, а затем задаем ряд исходных данных:

- планируемый объем рынка для каждой модификации (V_i);
- старт продаж модификаций (p_i);
- фактический и плановый коэффициент диффузии (r_i). Определяется на основе данных продаж. Данный показатель представляет собой совокупность воздействия рекламы и межличностных коммуникаций потребителей продукции;
- фактическая и плановая кривизна изменения скорости прироста объема продаж (k_i).

Затем на основе анализа данных предприятия о продажах определенного типа 3D-принтера на рынке устанавливаем средний срок, в течение которого продукция пользуется повышенным спросом.

На третьем шаге определяем средний срок между датой объявления о выпуске новой модификации 3D-принтера и датой фактического старта продаж. В течение данного периода в первой его половине наблюдается активный всплеск спроса на модификацию, что связано с деятельностью потребителей из группы «инноваторов» [1].

На следующем шаге осуществляем подбор ключевых параметров качества для анализируемого типа 3D-принтера.

В рамках пятого шага рассчитываем значимость каждого из отобранных на предыдущем шаге параметров качества. Для этой цели используем экспертный подход в случае отсутствия статистических данных, что характерно для большинства инновационной продукции. Если же имеется достаточно данных, то лучшим решением является применение методов нейросетевого анализа.

Затем для каждой модификации 3D-принтера устанавливаем планируемые показатели для всех ключевых параметров качества, которые ожидается достигнуть по результату их разработки.

На шестом шаге производится расчет коэффициента технико-экономического отставания текущей модификации 3D-принтера от последующих (h_i). Данный показатель влияет на снижение продаж при объявлении о выходе следующей модели.

Для определения h_i требуется произвести оценку соотношения цены и качества модификации продукции относительно предыдущих модификаций с учетом промежутка между выходами модификаций по следующей формуле:

$$h_i = \left(\frac{\sum_{j=1}^m \left(\frac{E_{j,i+1}}{E_{j,i}} - 1 \right) g_j}{\left(\frac{C_{i+1}}{C_i} - 1 \right)} - 1 \right) \frac{1}{(p_{i+1} - p_i)} 100\%$$

где C_i – рыночная цена i -й модификации продукта, руб.; $E_{j,i}$ – значение j -го параметра i -й модификации продукта. Каждый параметр выражается в собственных единицах измерения. При наличии параметра, характеризующего улучшение при уменьшении значения, следует использовать обратное соотношение, т. е.

$$\frac{E_{j,i}}{E_{j,i+1}}$$

m – количество параметров, характеризующих качество продукта; g_j – весовой коэффициент для j -го параметра продукта. Для определения рекомендуется использовать результаты анализа рынка (тренды, требования покупателей) или использовать метод Дельфи.

На восьмом шаге осуществляем расчеты в соответствии с формулой (1) для всего рассматриваемого срока с использованием автоматизированных средств с возможностью последующего анализа.

Затем производим оценку полученных результатов и их соответствия стратегии и планам предприятия. При необходимости осуществляем поиск оптимальных параметров качества планируемых к разработке модификаций 3D-принтера. Целью оптимизации может являться снижение требований с сохранением потенциального объема продаж с учетом производственных мощностей компании. Другой целью является проведение сценарного анализа в зависимости от сроков выпуска продукции, цены и качества разрабатываемой продукции.

На последнем шаге получаем итоговые значения требуемых параметров качества планируемой к разработке продукции, а также необходимых диапазонов цен.

Верификация и валидация: исследование влияния требований конечного пользователя

Рассмотрим применение предложенной математической модели для расчета накопительного объема продаж 3D-принтеров Hercules за 33 квартала с 2014 по 2023 гг. компанией ООО «Компания Импринта».

Таблица 1

Значения параметров моделирования объемов продаж 3D-принтеров

Модификация принтера	Параметры						
	V_i , шт.	P_i , квартал	r_i	k_i	h_i , %	R , квартал	S , квартал
Первая модификация ($i=1$)	48	1	1	1,1	14	3	3
Вторая модификация ($i=2$)	550	7	0,74	0,72	-8		
Третья модификация ($i=3$)	900	13	0,72	0,85	-6		
Четвертая модификация ($i=4$)	200	22	0,79	1,3	1		
Пятая модификация ($i=5$)	480	30	0,88	0,7	-17		
Шестая модификация ($i=6$)	250	31	0,826	0,934	-7		
Седьмая модификация ($i=7$)	100	43	0,826	0,934			

Таблица 2

Параметры продукции

Параметр	Коэффициент	Модель № 1	Модель № 2	Модель № 3	Модель № 4	Модель № 5	Модель № 6	Модель № 7
Объем камеры, л	0,2	5,832	8	8,4	8,4	18	72	216
Скорость печати, см ³ /час	0,2	40	50	50	100	162	162	162
Минимальная толщина слоя, мкм	0,2	50	50	20	10	10	10	10
Температура печати, °С	0,2	260	260	260	410	420	420	420
Наличие подогреваемой камеры (0 – нет, 1 – да)	0,1	0	0	0	0	0	1	1
Кол-во экструдеров, шт.	0,1	1	1	1	1	1	1	1
Цена, тыс. руб.		60	64	104	219	289	499	1590
Квартал выпуска		1	7	13	22	30	31	43 (план)

За этот период компанией было разработано и коммерциализовано 6 моделей 3D-принтеров одной линейки. Для анализа рассматривалась продукция, которая рассчитана на одну категорию потребителей и являющейся аналогичной или замещающей друг друга. Анализ процесса коммерциализации каждой отдельной модели 3D-принтера позволил выявить основные параметры для формулы (1), которые представлены в табл. 1.

В результате изучения существующий настольных и профессиональных экструзионных 3D-принтеров, отзывов пользователей данного оборудования, а также на основе результатов опроса, проводимого ООО «Компания Импринта», было установлено, что в качестве основных параметров продукции выделяют: объем камеры; скорость печати; минимальная толщина слоя; температура печати; наличие подогреваемой камеры; количество экструдеров. Кроме того, были определены коэффициенты значимости этих параметров. Результаты представлены в табл. 2.

Результаты применения формулы (1) с выявленными параметрами представлены на рис. 3.

Ошибка приближения составила 5,12%. Однако, можно наблюдать отклонение от фактических данных при выпуске третьей и четвертой вариантов 3D-принтеров, что связано с внешними рыночными факторами, а именно отсутствие аналогов по соотношению цены и качеству среди конкурентов по сравнению с третьей версией 3D-принтера, что положительно повлияло на продажи модели. При старте продаж четвер-

той версии наблюдались незначительные технические проблемы, что привело к одновременному увеличению продаж предыдущего поколения 3D-принтера.

Рассмотрим влияние предпочтений потребителя при их значительном изменении при выпуске каждой модели. Для этого возьмем две крайних ситуации:

- 1) все изменения в моделях 3D-принтеров не совпадают с предпочтениями потребителей, далее приближение № 2;
- 2) продукция компании разрабатывается в полном соответствии с требованиями потребителей, как минимум, по одному наиболее улучшаемому параметру, далее приближение № 3.

Результаты изменяющихся коэффициентов значимости представлены в табл. 3.

В результате применения измененных коэффициентов для каждой модификации продукции, получим 2 дополнительных приближения, которые представлены на рис. 4 вместе с базовой моделью – модель № 1 (формула (1)), в соответствии со случаем 1 из табл. 3 – приближение № 2 и в соответствии со случаем 2 из табл. 3 – приближение № 3.

В результате моделирования было выявлено 3 участка, на которых наблюдается наибольшее отклонение – при выпуске 2, 3 и 5, 6 модели 3D-принтера. При этом, можно видеть, что при полном соответствии улучшений продукции требованиям потребителей наблюдается ускоренный процесс диффузии в плотность до 43%.

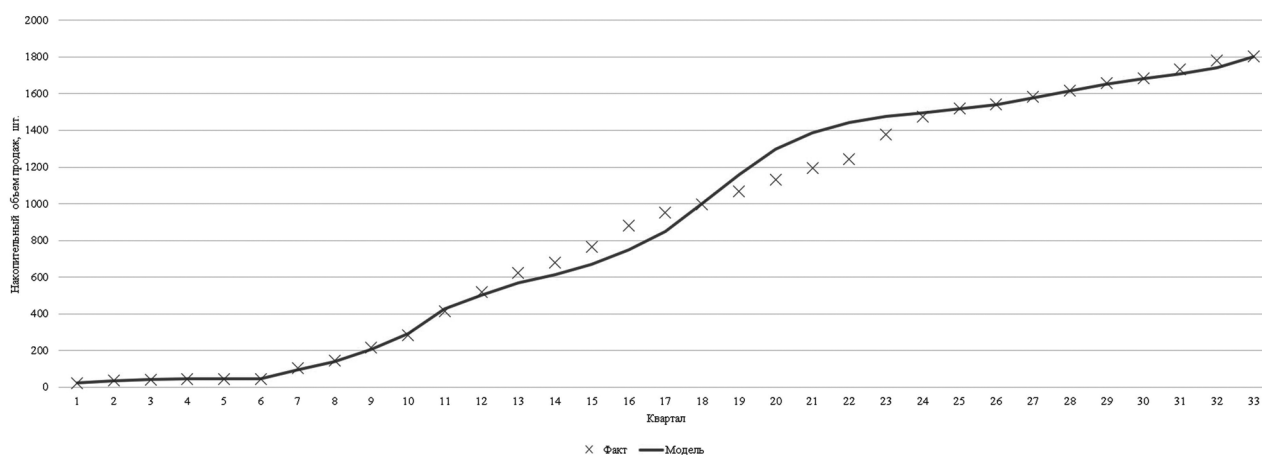


Рис. 3. Результат применения модели каскадной диффузии для вычисления накопительного объема продаж 3D-принтеров ООО «Компания Импринта»

Значение предпочтений (коэффициентов) к моменту выпуска моделей

Параметр	Для модели № 1	Для модели № 2	Для модели № 3	Для модели № 4	Для модели № 5	Для модели № 6
Приближение № 2 – предпочтения полностью не совпадают с направлением улучшения продукции						
Объем камеры, л	0	0	1	0	0	0
Скорость печати, см ³ /час	0	0	0	0	1	1
Минимальная толщина слоя, мкм	1	0	0	1	0	0
Температура печати, °С	0	1	0	0	0	0
Наличие подогреваемой камеры (0 – нет, 1 – да)	0	0	0	0	0	0
Кол-во экструдеров, шт.	0	0	0	0	0	0
Приближение № 3 – предпочтения полностью совпадают с направлением улучшения продукции						
Объем камеры, л	0,3	0	0	1	1	1
Скорость печати, см ³ /час	0,3	0	0	0	0	0
Минимальная толщина слоя, мкм	0,3	1	0	0	0	0
Температура печати, °С	0	0	1	0	0	0
Наличие подогреваемой камеры (0 – нет, 1 – да)	0	0	0	0	0	0
Кол-во экструдеров, шт.	0	0	0	0	0	0

Однако, при выпуске 5 и 6 модели 3D-принтер в 30 и 31 квартале наблюдается полностью противоположная ситуация, связанная с практически одновременным выпуском продукции и такой быстрой сменой предпочтений потребителя.

Прогноз на период 8 кварталов показывает, что в зависимости от изменяющихся предпочтений потребителя возможно увеличение в абсолютном количестве накопительного объема продаж до 62 единиц продукции. При наступлении данного события предприятия должно иметь возможность увеличить производственные мощности для закрытия дополнительного спроса.

Проведенный анализ показывает, что компании при выпуске замещающих или аналогов продукции влияние потребителей может оказывать значительное влияние на скорость коммерциализации, даже не учитывая из воздействия на иные внешние факторы, например, возможный объем рынка. Что говорит о том, что в условиях переменчивости требований к продукции предприятия должны планировать и организовывать процесс разработки таким образом, чтобы иметь возможность:

- производить улучшения всех технических параметров продукции для снижения негативного влияния в случае изменения предпочтений;

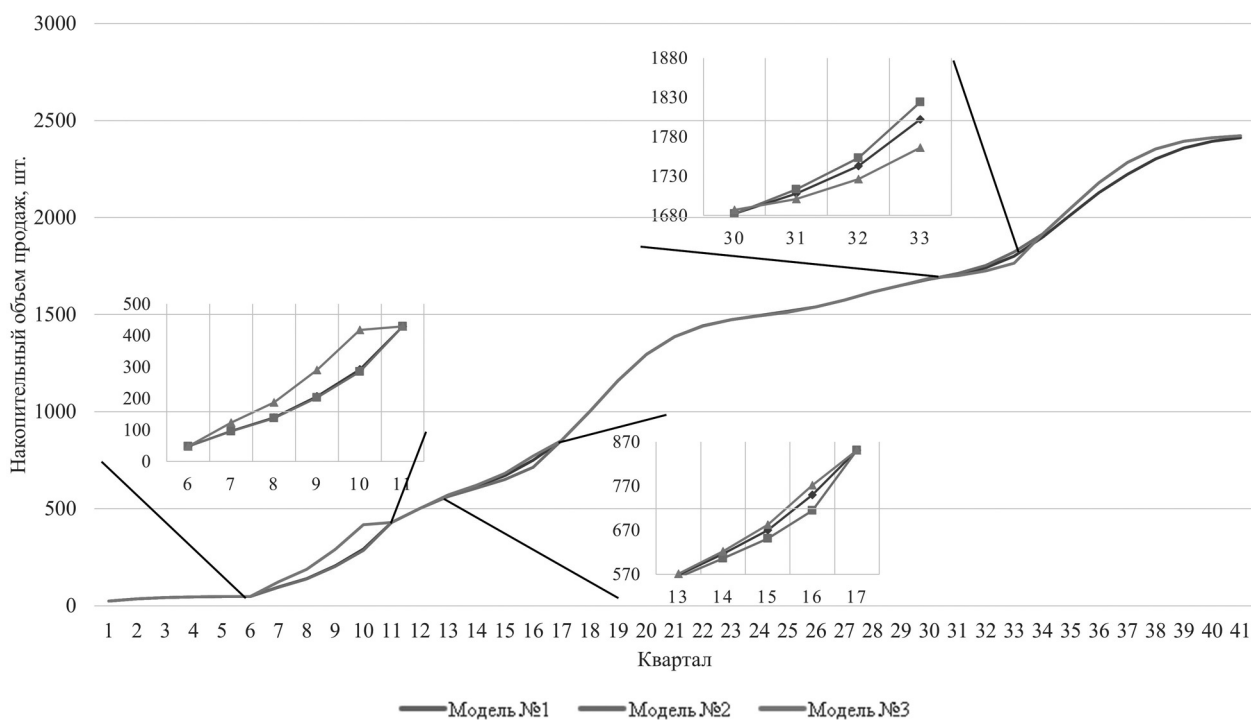


Рис. 4. Изменения накопительного объема продаж в крайних случаях изменения требований конечных пользователей. На рисунке вместе с базовой моделью — формула (1) приведены графики в соответствии со случаем 1 из табл. 3 — приближение № 2 и со случаем 2 из табл. 3 — приближение № 3

- вносить изменения в продукцию на любой стадии разработки без значительного увеличения временных и финансовых расходов;
- снизить неопределенность в вопросе понимания предпочтений потребителей за счет встраивание потребителей в процесс разработки (получение обратной связи, увеличение количества этапов тестирования продукции и т. д.).

Выводы

Предложенная модель каскадной диффузии с учетом изменяющихся требований конечных пользователей может быть применена и к 3D-принтерам, работающим по другим технологиям печати. Кроме того, модель возможно использовать и для другой продукции, реализовываемую на быстро меняющемся рынке с высокой степенью влияния конечных пользователей. Точность приближения будет возрастать при переходе от мелкосерийного к массовому производству.

Выполненный авторами анализ влияния изменения требований потребителя на процесс диффузии инновационной продукции на примере 3D-принтеров ООО «Компания Импринта» указывает на необходимость формирования предприятиями стратегии разработки новой продукции и коммерциализации с учетом различных сценариев спроса на продукцию в зависимости от изменений предпочтений конечных пользователей.

Предложенная модель каскадной диффузии может быть использована для любой другой продукции, реализовываемой на быстро меняющемся рынке с высокой степенью влияния конечных пользователей. При этом, точность модели будет возрастать в зависимости от типа производства.

Дальнейшие исследования в данной области требуют расширения границ модели и включения в рассматриваемый контур влияния требований конечных пользователей на доступный объем рынка в зависимости от степени их соответствия направлению изменений инновационной продукции, производимой в условиях сложных организационных систем.

Список использованных источников

1. E. M. Rogers. Diffusion of innovations: Fifth Edition. Free Press: New York, NY, USA, 2003. 551 p.
2. V. Mahajan, Y. Wind. Innovation Diffusion. Models of New Product Acceptance: A Reexamination. Ballinger Publishing Co: Boston, Mass., USA, 1985. 46 p.
3. F. M. Bass. A New Product Growth Model for Consumer Durables//Management Science. 1969. № 15. P. 215-227.
4. Д. А. Мур. Преодоление пропасти: как вывести технологический продукт на массовый рынок. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2013. 323 с.
5. J. Goldenberg, B. Libai, E. Muller. Riding the saddle: How cross-market communications can create a major slump in sales//Marketing. 2002. № 66 (2). P. 1-16.
6. А. Н. Хасанов. Эволюция теорий вывода на рынок новых продуктов//Стратегии бизнеса. 2016. № 1 (21). <https://www.strategybusiness.ru/jour/article/view/213/200>.
7. В. К. Раев. Организационные системы//ИТНОУ: информационные технологии в науке, образовании и управлении. 2019. № 1. С. 94-100.
8. Д. А. Новиков. Теория управления организационными системами. 4-е изд., испр. и дополн. М.: Ленанд, 2022. 500 с.
9. С. Земцов, В. Бабурин. Моделирование диффузии инноваций и типология регионов России на примере сотовой связи//Известия РАН. Серия географическая. 2017. № 4. С. 17-30.
10. И. В. Пенюкова, А. В. Боднар, Е. А. Искра. Имитационное моделирование рекламной кампании на основе модели диффузии Басса//Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2018. № 5 (68). С. 108-114.
11. N. A. Tsvetkova, I. L. Tukkel, V. A. Ablyazov. Simulation modeling the spread of innovation//2017 XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM). <https://ieeexplore.ieee.org/document/7970686>.
12. И. Л. Туккель, Н. А. Цветкова. Модели распространения инноваций: от описания к управлению инновационными процессами//Инновации. 2017. № 11. С. 106-111.
13. D. Antipov, A. Smagina, N. Klassen. Information support of a quality management system in the context of digitalization of business processes//IOP conference series: materials science and engineering. 2020. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/986/1/012025>.
14. E. P. G. Vasconcellos, S. S. Silva, M. F. Oliveira. Critical Aspects of the Innovation Management: the cases Natura and Oxiteno//International Journal of Innovation. 2017. Vol. 5. № 1. P. 1-19.
15. L. Lisovska, O. Yurynets, B. Sheremeta. Changing the paradigm of the innovation process on the basis of interaction//Journal of Lviv Polytechnic National University. Series of Economics and Management Issues. 2020. Vol. 4. № 1. P. 174-187.
16. Экспертно-аналитический доклад «Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности». Сайт ассоциации «Технет». <https://technet-nti.ru/article/ekspertnoanaliticheskij-doklad-cifrovye-dvojniki-v-vysokotekhnologichnoj-promyshlennosti>.
17. М. Ф. Минков, Т. Е. Минакова, А. Ш. Галстян, А. А. Шиянова. Обобщенная экономико-математическая модель распространения и замещения инноваций//Экономико-математическое моделирование. 2012. № 47 (302). С. 49-54.
18. Цифровое производство. Методы, экосистемы, технологии: рабочий доклад Департамента Корпоративного обучения Московской школы управления Сколково. http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2017/11_november/17/tsifrovoe_proizvodstvo_112017.pdf.

References

1. E. M. Rogers. Diffusion of innovations: Fifth Edition. Free Press: New York, NY, USA, 2003. 551 p.
2. V. Mahajan, Y. Wind. Innovation Diffusion. Models of New Product Acceptance: A Reexamination. Ballinger Publishing Co: Boston, Mass., USA, 1985. 46 p.
3. F. M. Bass. A New Product Growth Model for Consumer Durables//Management Science. 1969. № 15. P. 215-227.
4. D. A. Moore. Bridging the Gap: how to bring a technological product to the mass market. М.: Mann, Ivanov and Ferber, 2013. 323 p.
5. J. Goldenberg, B. Libai, E. Muller. Riding the saddle: How cross-market communications can create a major slump in sales//Marketing. 2002. № 66 (2). P. 1-16.
6. A. N. Khasanov. The evolution of theories for bringing new products to market//Business strategies. 2016. № 1 (21). <https://www.strategybusiness.ru/jour/article/view/213/200>.
7. V. K. Raev. Organizational systems//ITNOU: Information technologies in science, education and management. 2019. № 1. P. 94-100.
8. D. A. Novikov. Theory of management of organizational systems. 4th ed., ispr. and supplement. М.: Lenand, 2022. 500 p.
9. S. Zemtsov, V. Baburin. Modeling the diffusion of innovations and the typology of Russian regions on the example of cellular communications//News of the Russian Academy of Sciences. The series is geographical. 2017. № 4. P. 17-30.
10. I. V. Penkova, A.V. Bodnar, E. A. Iskra. Simulation of an advertising campaign based on the Bass diffusion model//Bulletin of the North Caucasus Federal University. 2018. № 5 (68). P. 108-114.
11. N. A. Tsvetkova, I. L. Tukkel, V. A. Ablyazov. Simulation modeling the spread of innovation//2017 XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM). <https://ieeexplore.ieee.org/document/7970686>.
12. I. L. Tukkel, N. A. Tsvetkova. Models of innovation dissemination: from description to management of innovation processes//Innovation. 2017. № 11. P. 106-111.
13. D. Antipov, A. Smagina, N. Klassen. Information support of a quality management system in the context of digitalization of business processes//IOP conference series: materials science and engineering. 2020. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/986/1/012025>.
14. E. P. G. Vasconcellos, S. S. Silva, M. F. Oliveira. Critical Aspects of the Innovation Management: the cases Natura and Oxiteno//International Journal of Innovation. 2017. Vol. 5. № 1. P. 1-19.
15. L. Lisovska, O. Yurynets, B. Sheremeta. Changing the paradigm of the innovation process on the basis of interaction//Journal of Lviv Polytechnic National University. Series of Economics and Management Issues. 2020. Vol. 4. № 1. P. 174-187.
16. Expert and analytical report «Digital twins in the high-tech industry». Website of the Technet Association. <https://technet-nti.ru/article/ekspertnoanaliticheskij-doklad-cifrovye-dvojniki-v-vysokotekhnologichnoj-promyshlennosti>.
17. M. F. Minkov, T. E. Minakova, A. Sh. Galstyan, A. A. Shiyanova. Generalized economic and mathematical model of the spread and substitution of innovations//Economic mathematical modeling. 2012. № 47 (302). P. 49-54.
18. Digital production. Methods, ecosystems, technologies: a working report of the Corporate Training Department of the Moscow School of Management Skolkovo. http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2017/11_november/17/tsifrovoe_proizvodstvo_112017.pdf.