

Научная статья  
УДК 519.87  
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.99.15.007

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОДВИЖЕНИЯ НОВЫХ ПОЖАРНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАРКОВСКИХ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

*Роман Валентинович Кузьменко<sup>1,2</sup>*

*Александр Юрьевич Глушков<sup>2</sup>*

*Елена Анатольевна Сушко<sup>2</sup>*

*Вера Леонидовна Порядина<sup>3</sup>*

*Карина Андреевна Кузнецова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Воронежский институт ФСИН России, г. Воронеж, Россия

<sup>2</sup>Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия

<sup>3</sup>Воронежский институт МВД России, г. Воронеж, Россия

*Автор ответственный за переписку: Александр Юрьевич Глушков, mail@moiseevs.ru*

**Аннотация.** В условиях современного динамичного и конкурентного рынка успех нового товара или услуги зависит от грамотного продвижения, которое не только информирует потребителей, но и формирует имидж бренда, увеличивает лояльность клиентов и способствует коммерческому успеху. Эффективная маркетинговая политика должна учитывать потребности целевой аудитории, исследовать конкурентную среду и разрабатывать стратегии, направленные на создание спроса. Однако выбор подходящей стратегии не всегда очевиден, что требует гибкости и корректировок. В статье предлагается математическая модель, основанная на теории Марковских случайных процессов, для анализа эффективности продвижения новых продуктов. Рассматриваются ключевые состояния процесса: начальная реализация стратегии, её корректировка и успешное завершение продвижения. Уравнения Колмогорова и преобразование Лапласа используются для вычисления вероятностей различных этапов. Анализ модели демонстрирует, что вероятность успешного продвижения продукта зависит от продолжительности промежуточных этапов. Сокращение этих этапов способствует ускорению вывода товара на рынок. Графические зависимости показывают, что вероятность завершения процесса стремится к единице, тогда как промежуточные состояния со временем затухают. Применение модели позволит компаниям оптимизировать маркетинговые стратегии, повысить их эффективность и минимизировать риски, связанные с выбором неудачной стратегии продвижения.

**Ключевые слова:** маркетинг, товары и услуги, продвижение на рынке, марковские случайные процессы, математическое моделирование

**Для цитирования:** Кузьменко Р.В., Глушков А.Ю., Сушко Е.А., Порядина В.Л., Кузнецова К.А. Моделирование процесса продвижения новых пожарнотехнических изделий с применением марковских случайных процессов // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 4 (35). С.55-65. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.99.15.007>

Original article

## MODELLING THE PROCESS OF PROMOTION OF NEW FIRE-TECHNICAL PRODUCTS USING MARKOVIAN RANDOM PROCESSES

*Roman V. Kuzmenko*<sup>1,2</sup>

*Alexander Yu. Glushkov*<sup>2</sup>

*Elena A. Sushko*<sup>2</sup>

*Vera L. Poryadina*<sup>3</sup>

*Karina A. Kuznetsova*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia, Voronezh, Russia*

<sup>2</sup>*Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia*

<sup>3</sup>*Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Voronezh, Russia*

**Corresponding author:** *Alexander Yu. Glushkov, mail@moiseevs.ru*

**Abstract.** In today's dynamic and competitive market, the success of a new product or service depends on competent promotion, which not only informs consumers, but also builds brand image, increases customer loyalty and contributes to commercial success. An effective marketing policy should take into account the needs of the target audience, research the competitive environment and develop strategies aimed at creating demand. However, the choice of an appropriate strategy is not always obvious, which requires flexibility and adjustments. The paper proposes a mathematical model based on the theory of Markov Random Processes to analyse the effectiveness of new product promotion. The key states of the process are considered: initial implementation of the strategy, its adjustment and successful completion of the promotion. Kolmogorov equations and Laplace transform are used to calculate the probabilities of the different stages. The analysis of the model demonstrates that the probability of successful product promotion depends on the duration of the intermediate stages. Reduction of these stages contributes to the acceleration of the product launch. The graphical dependencies show that the probability of process completion tends to one, while the intermediate states fade with time. The application of the model will allow companies to optimise marketing strategies, increase their efficiency and minimise the risks associated with the choice of unsuccessful promotion strategy.

**Keywords:** marketing, goods and services, market promotion, Markov random processes, mathematical modeling

**For citation:** Kuzmenko R.V., Glushkov A.Yu., Sushko E.A., Poryadina V.L., Kuznetsova K.A. Modeling the process of promoting new fire-fighting products using Markov random processes // Siberian Fire and Rescue Bulletin.2024. № 4 (35). С. 55-65. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.99.15.007>

### Введение

В условиях динамичного и конкурентного рынка в современных условиях успех бизнеса во многом зависит от умения эффективно представлять и продвигать новые товары и услуги. Процесс продвижения не просто необходим для информирования потребителей о новых предложениях, но и крайне важен для формирования имиджа бренда, увеличения лояльности клиентов и, в конечном итоге, достижения коммерческого успеха.

Грамотная маркетинговая политика является основой для успешной реализации новых благ. Она включает в себя анализ потребностей целевой аудитории, исследование конкурентной среды, а также разработку стратегий, направленных на привлечение клиентов и создание спроса на новый товар или услугу. Без эффективной маркетинговой стратегии даже самый инновационный товар может остаться незамеченным на переполненном рынке.

Продвижение новых товаров и услуг является ключевым аспектом для достижения успеха в условиях современного рынка. Грамотная маркетинговая политика, основанная на детальном анализе и четкости позиций, обеспечивает не только запуск продукта, но и его дальнейшее развитие и закрепление на рынке. Использование различных маркетинговых стратегий и приемов позволяет

компаниям не только привлечь внимание к новинкам, но и создать устойчивые отношения с клиентами, что, в свою очередь, ведет к долгосрочному успеху и прибыльности [1].

В рамках данного исследования рассмотрена разработанная авторами математическая модель, которая позволит оценить в динамике успешность проведения маркетинговых мероприятий, связанных с продвижением новых товаров и услуг, которые в дальнейшем будем называть продуктом, с учетом вероятности выбора неэффективной стратегии продвижения данного продукта.

### **Постановка задачи**

Предположим, что некоторая организация разработала новый продукт (товар или услугу), который необходимо наиболее эффективно вывести на рынок с целью достижения максимальных продаж и получения прибыли, возможно, в перспективе. Известно [2,3], что на успешность продвижения продукта влияет ряд факторов. Основным из таких факторов является понимание потребностей и предпочтений целевой аудитории. Для этого могут использоваться различные методы, такие как опросы, фокус-группы и анализ данных о продажах. Кроме того, успешное продвижение нового продукта требует четкого его позиционирования. Компании должны определить, какие уникальные преимущества предлагает их продукт по сравнению с конкурентами, и как он решает проблемы потребителей. В долгосрочной перспективе важную роль играет создание бренда. Бренд должен обладать четкими ценностями и миссией, чтобы завоевывать доверие потребителей.

Для эффективного продвижения продукта используются различные маркетинговые приемы и стратегии, основными из которых являются: осуществление целевой рекламы, сотрудничество с блогерами, осуществляющими свою деятельность в данной области, пробные версии продукта и его демонстрации, социальные медиа и контент-маркетинг, промо-акции и скидки, обратная связь и отзывы клиентов, и другие [3].

Однако, выбрать правильную стратегию по продвижению продукта задача не простая, вполне может оказаться, что выбранная стратегия не дает необходимый эффект и ее необходимо корректировать либо кардинально менять. Все это необходимо учитывать при разработке математической модели продвижения продукта, что будет сделано далее.

### **Построение математической модели**

На данном этапе приведем предпосылки того, что для моделирования поставленной задачи было принято решение использовать теорию марковских случайных процессов.

В первую очередь необходимо учитывать, что социально-экономические системы, как правило, являются достаточно сложными, содержат многофакторное воздействие, большое число элементов и связей, что дает основание использовать для их моделирование стохастические методы [4].

Кроме того, полагали, что важнейшим фактором при продвижении товара, особенно в условиях конкуренции на рынке, является фактор времени. Для моделирования систем, удовлетворяющих данным условиям, обычно используют методы, основанные на теории случайных процессов.

Далее, на показатели процесса продвижения продукта оказывают влияние большое число независимых потребителей, что дает основание, согласно предельной теореме потоков событий [5] считать, что в случайном процессе продвижения продукта на рынок будут участвовать потоки Пуассона [6].

Приведенные выше заключения дают аргументированные основания использовать для моделирования марковские случайные процессы с дискретным состоянием и непрерывным временем [5,6].

Возьмем некоторую социально-экономическую систему, которая описывает процесс продвижения нового продукта на рынке. Введем возможные состояния случайного процесса, описывающего эволюцию данной системы.

Состояние  $S_1$ . Оно заключается в принятие решений о начале продвижения товара или услуги, выбор стратегии продвижения продукта, реализация этой стратегии до момента подведения промежуточных итогов. Через  $T$  обозначим среднее время проведения первого этапа по «запуску» выбранной стратегии продвижения продукта.

Состояние  $S_2$ . Подведение промежуточных итогов начальной стадии продвижения продукта до момента принятия решений о дальнейших стратегиях маркетинговой компании. В результате подведения итогов на данном этапе возможны два результата:

- стратегия продвижения ошибочна, она не дает необходимой эффективности, необходимо корректировать стратегию продвижения продукта или менять на новую, вероятность такого результата обозначим через  $p_d$ ;
- стратегия продвижения выбрана правильно, имеется высокая эффективность ее реализации, стратегия продолжает выполняться, вероятность такого результата обозначим как  $(1-p_d)$ .

Обозначим через  $T_d$  – среднее время реализации данного состояния до момента принятия соответствующих решений.

Состояние  $S_3$ . Попытка изменить малоэффективную стратегию продвижения продукта на рынке. В процессе перехода к новым стратегиям продвижения возможны два варианта:

- усилия, связанные с изменением стратегии продвижения продукта не дали необходимого результата, принято решение кардинально изменить стратегию продвижения товара или услуги, вероятность такого события обозначим через  $p_r$ ;
- реформы, связанные с изменением стратегии продвижения продукта дали эффективный результат, стратегия продвижения в измененном виде используется на практике, вероятность такого события обозначим через  $(1-p_r)$ .

Также обозначим через  $T_r$  – среднее время данного состояния изменения стратегии продвижения продукта.

Состояние  $S_4$ . Маркетинговые мероприятия по продвижению товаров и услуг успешно реализованы.

На основании описанных состояний случайного процесса приведем граф состояний, на основании которого будем строить математическую модель задачи продвижения продукта. Указанный граф состояний случайного марковского процесса продвижения новых товаров и услуг на рынке изображен на Рис.1. Там же указаны интенсивности переходных пуассоновских потоков событий, переводящих случайный процесс из одного состояния в другое.

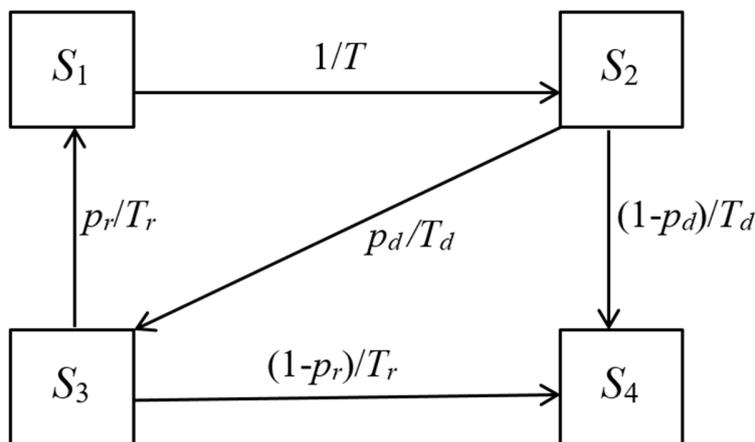


Рис.1. Граф состояний случайного процесса продвижения продукта

Из Рис.1 следует, что случайный процесс рано или поздно перейдет в состояние  $S_4$ , которое является конечным, то есть процесс продвижения продукта обязательно закончиться, что согласуется с поставленной задачей.

Согласно [5], для динамического анализа эффективности функционирования процесса продвижения товаров или услуг, необходимо составить и решить систему дифференциальных уравнений Колмогорова [5], которая имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{dP_1(t)}{dt} = \frac{p_r}{T_d} P_3(t) - \frac{P_1(t)}{T}; \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = \frac{P_1(t)}{T} - \frac{P_2(t)}{T_d}; \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = \frac{p_d P_2(t)}{T_d} - \frac{P_3(t)}{T_r}; \\ \frac{dP_4(t)}{dt} = \frac{(1-p_r)P_2(t)}{T_r} + \frac{(1-p_d)P_2(t)}{T_d}. \end{cases} \quad (1)$$

В выражении (1) через  $P_i(t)$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) обозначены вероятности состояний случайного процесса, которые равны вероятностям того, что в произвольный момент времени  $t$  случайный процесс будет находиться в состоянии  $S_i$ .

Необходимо отметить, что согласно [5], система уравнений (1) будет вырожденной и необходимо заменить любое ее уравнение на условие нормировки вида:  $P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) + P_4(t) = 1$ . Сделаем это с последним уравнением.

Кроме того, учитывая то, что в начальный момент времени случайный процесс, описывающий продвижение продукта в соответствии с графом состояний из Рис.1, находился в первом состоянии  $S_1$ , дополним систему уравнений (1) начальными условиями. В результате сформируем математическую модель поставленной задачи вида:

$$\begin{cases} \frac{dP_1(t)}{dt} = \frac{p_r}{T_d} P_3(t) - \frac{P_1(t)}{T}; \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = \frac{P_1(t)}{T} - \frac{P_2(t)}{T_d}; \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = \frac{p_d P_2(t)}{T_d} - \frac{P_3(t)}{T_r}; \\ P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) + P_4(t) = 1, \\ P_1(0) = 1; \quad P_2(0) = 0; \quad P_3(0) = 0; \quad P_4(0) = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Приведем аналитическое решение поставленной задачи (2) и проведем анализ полученных решений.

**Получение решений по модели и их анализ**

Для решения (2) введем параметры, упрощающие решения:

$$\frac{p_r}{T_d} = a; \quad \frac{1}{T} = b; \quad \frac{1}{T_d} = c; \quad \frac{P_d}{T_d} = d; \quad \frac{1}{T_r} = e.$$

С использованием данных обозначений система (2) примет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_1(t)}{dt} = aP_3(t) - bP_1(t); \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = bP_1(t) - cP_2(t); \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = dP_2(t) - eP_3(t); \\ P_4(t) = 1 - P_1(t) - P_2(t) - P_3(t). \end{array} \right. \quad (3)$$

$$P_1(0) = 1; \quad P_2(0) = 0; \quad P_3(0) = 0; \quad P_4(0) = 0.$$

Применим преобразование Лапласа [7] в комплексной плоскости, для чего введем функцию,  $f(t) \geq 0, t \in R$ , образ которой есть:

$$\hat{F}(\tau) = L_{t \rightarrow \tau}[f(t)] = \int_0^{\infty} e^{-t\tau} f(t) dt \quad (4)$$

а оригинал по образу вычисляется как:

$$f(t) = L_{t \rightarrow \tau}^{-1} \left[ \hat{F}(\tau) \right] = \frac{1}{2\pi i} \int_{\sigma_1 - i\infty}^{\sigma_1 + i\infty} e^{t\tau} \hat{F}(\tau) dt, \quad (5)$$

где: параметр  $\sigma_1$  – некоторая точка на комплексной плоскости, находящаяся в области решения, а  $\tau$  – образ переменной времени  $t$  [7,8].

Переведа по прямому преобразованию Лапласа (4) систему (3), а также учитывая свойства преобразования вида:

$$\hat{P}_i(\tau) = L_{t \rightarrow \tau}[P_i(t)]; \quad \frac{d\hat{P}_i(\tau)}{d\tau} = L_{t \rightarrow \tau} \left[ \frac{d}{dt} P_i(t) \right] = -\hat{P}_i(0) + \tau \hat{P}_i(\tau),$$

Получаем в комплексном пространстве вместо системы дифференциальных уравнений (2), систему линейных алгебраических уравнений вида [7]:

$$\left\{ \begin{array}{l} -1 + \tau \hat{P}_1(\tau) = -b \hat{P}_1(\tau) + a \hat{P}_3(\tau); \\ \tau \hat{P}_2(\tau) = b \hat{P}_1(\tau) - c \hat{P}_2(\tau); \\ \tau \hat{P}_3(\tau) = d \hat{P}_2(\tau) - e \hat{P}_3(\tau); \\ P_4(t) = 1 - P_1(t) - P_2(t) - P_3(t). \end{array} \right. \quad (6)$$

Решая (6), получаем образы вероятностей состояний:

$$\left\{ \begin{array}{l} \hat{P}_1(\tau) = \frac{1}{\tau + b} + \frac{abd}{(\tau + b)^2(\tau + e)(\tau + c)}; \\ \hat{P}_2(\tau) = \frac{b}{(\tau + b)(\tau + c)}; \\ \hat{P}_3(\tau) = \frac{db}{(\tau + e)(\tau + c)(\tau + b)}; \\ P_4(t) = 1 - P_1(t) - P_2(t) - P_3(t). \end{array} \right. \quad (7)$$

Выполнив обратное преобразование Лапласа (5) для первых трех выражений (7), определяем вероятности всех состояний для случайного процесса продвижения нового продукта на рынке. Для состояния  $S_1$  имеем:

$$P_1(t) = (A_1 t + B_1) \exp(-t/T) + C_1 \exp(-t/T_r) + D_1 \exp(-t/T_d),$$

где:

$$A_1 = \frac{abd}{(e-b)(c-e)} = \frac{p_r p_d T_r^2}{T_d(T - T_r)(T_r - T_d)};$$

$$B_1 = \frac{abd(b-c)}{(e-b)} = \frac{p_r p_d T_r^2 (T_d - T)}{T T_d^3 (T - T_r)};$$

$$C_1 = \frac{abd}{(b-e)^2(c-e)} = \frac{p_r p_d T_r^3 T}{T_d (T - T_r)^2 (T_r - T_d)};$$

$$D_1 = \frac{abd}{(b-c)^2(e-c)} = \frac{p_r p_d T_r}{(T_d - T)^2 (T_d - T_r)}.$$

Для остальных состояний:

$$P_2(t) = \frac{T_d}{T_d - T} [\exp(-t/T) - \exp(-t/T_d)];$$

$$P_3(t) = A_3 \exp(-t/T) + (B_3 + C_3) \exp(-t/T_d);$$

$$P_4(t) = 1 - P_1(t) - P_2(t) - P_3(t),$$

где:

$$A_3 = \frac{db}{(c-e)(b-e)} = \frac{p_d T_r^2}{(T_r - T_d)(T_r - T)};$$

$$B_3 = \frac{db}{(e-c)(b-c)} = \frac{p_d T_d T_r}{(T_d - T_r)(T_d - T)};$$

$$C_3 = \frac{db}{(e-b)(c-b)} = \frac{p_d T T_r}{(T - T_r)(T - T_d)}.$$

Для наглядности, приведем на Рис.2 графики вероятностей состояний случайного процесса за 100 дней от начала постановки задачи о продвижении продукта. При отображениях результатов решения были использованы следующие данные:

$$p_d=0,2; p_r=0,3; T=25 \text{ суток}; T_d=20 \text{ суток}; T_r=15 \text{ суток}.$$

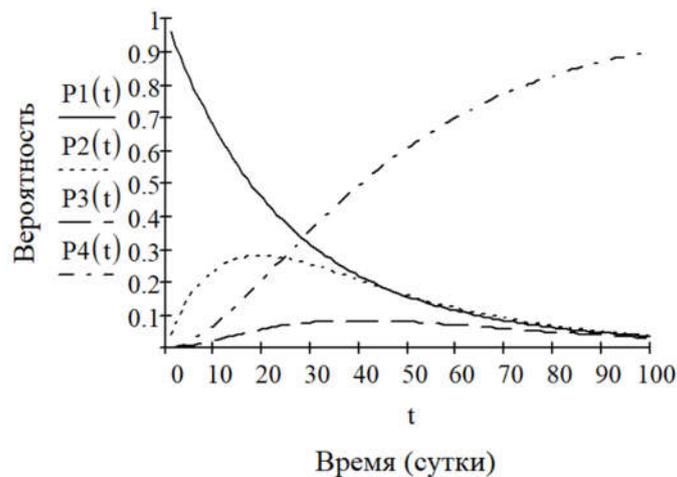


Рис.2. Зависимость вероятностей состояний от времени

Как видно из Рис.2, с течением времени вероятность завершения всех промежуточных состояний процесса продвижения стремится к нулю, а вероятность завершения процедуры успешного продвижения продукта, что соответствует состоянию  $S_4$ , стремится к единице. Время выхода вероятностей всех состояний случайного процесса на нулевое или единичное постоянное значение зависит от параметров случайного процесса. Вероятности промежуточных состояний процесса продвижения товара или услуги ( $S_2$  и  $S_3$ ) имеют максимумы, которые наблюдаются в моменты времени, примерно равные продолжительности этих состояний  $T_d$  и  $T_r$ . Данный результат согласуется с результатами работ [9,10], по схожей тематике.

При анализе приведенных временных зависимостей наибольший интерес представляет вероятность состояния  $S_4$ , описывающего вероятность успешного завершения процесса продвижения продукта в разные моменты времени. Эта вероятность поможет оценить продолжительность всего процесса продвижения товара или услуги. Как было сказано ранее, эта вероятность зависит от временных параметров системы. На Рис.3 приведены временные зависимости окончания процесса продвижения продукта для разных временных параметров при значениях вероятностных параметров, равных  $p_d=0,2$  и  $p_r=0,3$ .

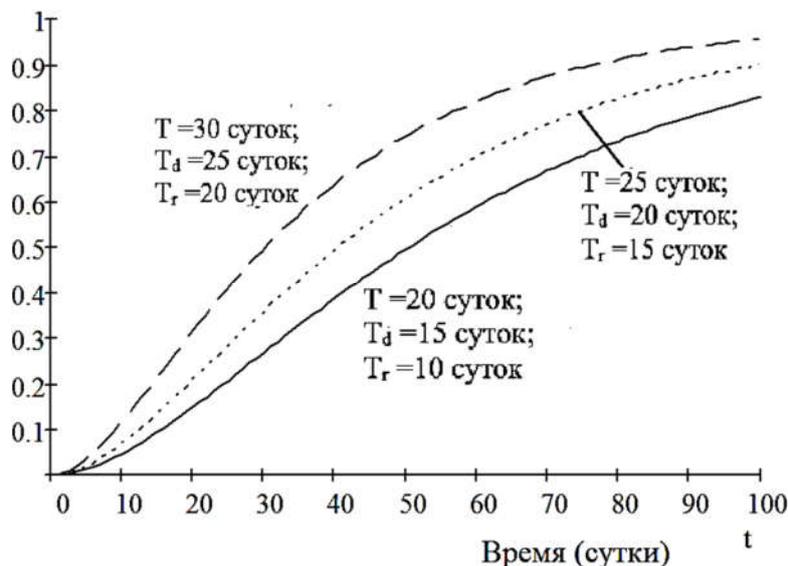


Рис.3. Зависимость вероятности завершения процесса продвижения продукта от времени для разных временных параметрах

Как видно из Рис.3, росту вероятности быстрого завершения процесса продвижения будут способствовать уменьшение времени проведения промежуточных этапов.

### Заключение

Таким образом, создана математическая модель на базе марковских случайных процессов, позволяющая проанализировать вероятностно-временные показатели, связанные с процессом продвижения на рынке новых товаров и услуг. Исследованы аналитические зависимости вероятностей завершения за определенное время основных этапов продвижения новых продуктов.

Показано, что на вероятность успешного завершения процесса продвижения товара или услуги в более короткие сроки большое влияние оказывает продолжительность промежуточных этапов данного процесса. Сокращение времени проведения этих этапов будет способствовать успешности эффективного вывода нового продукта на рынок.

Применение описанной в работе модели будет способствовать формированию эффективной маркетинговой стратегии управления процессами вывода на рынок новых товаров и услуг.

### Список литературы

1. Глушков А.Ю., Лазарев В.Ю., Моисеев С.И., Титов Д.В. Динамическая модель реализации коммерческих проектов в условиях конкуренции // Системы управления и информационные технологии, 2023. №4 (94). С. 53-56.
2. Кустов А.И., Моисеев С.И., Степанов Л.В. Моделирование продвижения новых товаров и услуг на рынке на основе марковских случайных процессов // Системы управления и информационные технологии. 2022. № 3 (89). С. 19-24.
3. Золототрубов Д.Ю., Никишина А.И., Порядина В.Л., Землянухин А.С. Динамическая модель ведения конкурентной борьбы при продвижении новых товаров или услуг // Системы управления и информационные технологии. 2024. № 2 (96). С. 77-81.
4. Баркалов С.А., Моисеев С.И., Порядина В.Л. Модели и методы в управлении и экономике с применением информационных технологий [Электронный ресурс]: учебное пособие / СПб.: Интермедия, 2017. 264 с.
5. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения: учебное пособие для студентов высших технических учебных заведений. 5-е изд., стер. / М.: КноРус, 2014. 448 с.
6. Матальцкий М.А. Элементы теории случайных процессов: учеб. пособие. Гродно: ГрГУ, 2004. 326 с.
7. Владимиров В.С. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1981. — 512 с.
8. Арнольд В.И. Обыкновенные дифференциальные уравнения / М.: МЦНМО, 2012. - 344 с.
9. Баркалов С.А., Моисеев С.И., Серебрякова Е.А. Динамическая модель анализа рисков при реализации строительных проектов на основе марковских случайных процессов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2023. Т. 23. № 2. С. 40-51.
10. Баркалов С.А., Моисеев С.И., Серебрякова Е.А. Модель управления запасами в строительной сфере, основанная на марковских случайных процессах // Инженерный вестник Дона. 2023. № 2 (98). С. 211-223.

### References

1. Glushkov A.Yu., Lazarev V.Yu., Moiseev S.I., Titov D.V. Dinamicheskaya model realizatsii kommercheskikh proyektov v uslovii konkurentsii // Sistemy upravleniya i informatsionnyye tekhnologii. 2023. № 4 (94). PP. 53-56.
2. Kustov A.I., Moiseev S.I., Stepanov L.V. Modeling the promotion of new goods and services on the market based on Markov random processes // Control Systems and Information Technologies. 2022. №. 3 (89). PP. 19-24.
3. Zolototrubov D.Yu., Nikishina A.I., Poryadina V.L., Zemlyanukhin A.S. Dynamic model of conducting competitive struggle in promoting new goods or services // Control systems and information technologies. 2024. №. 2 (96). PP. 77-81.
4. Barkalov S.A., Moiseev S.I., Poryadina V.L. Models and methods in management and economics using information technologies [Electronic resource]: textbook / St. Petersburg: Intermedia, 2017. 264 pp.
5. Ventzel E.S., Ovcharov L.A. Theory of random processes and its engineering applications: a textbook for students of higher technical educational institutions. 5th ed., reprinted / M.: KnoRus, 2014. 448 pp.
6. Matalytsky M.A. Elements of the theory of random processes: textbook. Grodno: Grodno State University, 2004. 326 pp.
7. Vladimirov V.S. Equations of Mathematical Physics. Moscow: Nauka, 1981. — 512 pp.
8. Arnold V.I. Ordinary differential equations / M.: MCNO, 2012. - 344 pp.
9. Barkalov S.A., Moiseev S.I., Serebryakova E.A. Dynamic model of risk analysis in the implementation of construction projects based on Markov random processes // Bulletin of the South Ural State University. Series: Computer technologies, control, radio electronics. 2023. Vol. 23. №. 2. PP. 40-51.

10. Barkalov S.A., Moiseev S.I., Serebryakova E.A. Model of inventory management in the construction sector based on Markov random processes // Engineering Bulletin of the Don. 2023. №. 2 (98). PP. 211-223.

Информация об авторах

Р.В. Кузьменко - доктор физико-математических наук, доцент

А.Ю. Глушков – кандидат технических наук

В.Л. Порядина – кандидат технических наук

Information about authors

R.V. Kuzmenko - Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor

A.Yu. Glushkov - Candidate of Technical Sciences

V.L. Poryadina - Candidate of Technical Sciences

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 18.11.2024, одобрена после рецензирования 02.12.2024, принята к публикации 04.12.2024.

The article was submitted 18.11.2024, approved after reviewing 02.12.2024, accepted for publication 04.12.2024