

УДК 338.984

**ИМИТАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ПРОИЗВОДСТВЕННО-СБЫТОВОЙ СИСТЕМЫ****Шукаев Д.Н., Абдуллина В.З., Ламашева Ж.Б.***Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева,
Алматы, e-mail: zhanarlb@mail.ru*

Статья посвящена изучению динамики функционирования производственно-сбытовых систем. В работе рассмотрены методы моделирования, анализа и принятия решений на основе нескольких логистических модулей и основные функции производственного звена. Описанные логистические модули предназначены для анализа функционирования всех логистических процессов и потоков, в дополнение к созданию условий для повышения эффективности логистических процессов. Используя предложенные технологические схемы логистических модулей и уравнения материальных и информационных потоков показан возможный способ исследования процессов функционирования и принятия решений в производственно-сбытовых системах. В работе предлагается алгоритм моделирования спроса и алгоритм функционирования технологической схемы. Полученные в работе имитационно-аналитические модели предложенных модулей являются основой для создания информационной системы анализа и планирования процессов в цепочках поставок.

Ключевые слова: логистика, моделирование, производственно-сбытовая система, технологическая схема**SIMULATION AND ANALYTICAL MODELING
OF PRODUCTION-MARKETING SYSTEM****Shukayev D.N., Abdullina V.Z., Lamasheva Z.B.***Kazakh national technical university named after K.I. Satpayev, Almaty, e-mail: zhanarlb@mail.ru*

The paper's main subject of study is the dynamics of the production-marketing system operations. The paper discusses methods of modeling, analysis and decision-making based on multiple logistic modules and basic functions of production management. Described logistic modules are designed for the analysis of the functioning logistics processes and flows, in addition to creating the required conditions for increase in efficiency of logistics processes. Using the proposed technological schemes of the logistics modules and equations of material and information flows show a possible way to study the functioning and decision-making in the production and marketing systems. We propose the algorithm for the simulation of demand and operation algorithm of the technological scheme. Simulation and analytical models of proposed modules are the basis for the creation of an information system analysis and planning processes in the supply chain.

Keywords: logistics, modeling, production-marketing system, technological scheme

Современные методы управления цепочками поставок должны обеспечить интеграцию процессов производства и реализации заказов в их неразрывной связи и взаимообусловленности, устойчивость и стабильность функционирования системы «производство – сбыт» с получением наибольшей прибыли от ее деятельности.

Отметим лишь основополагающие труды, изложенные во второй половине прошлого века в монографиях. В работе [6] организация рассматривается в качестве самонастраивающейся системы динамического характера. В [7] американский ученый Дж. Форрестер предлагает метод моделирования предприятия как динамического экономического объекта в рамках информационной взаимосвязи между этапами производственного процесса. В книге известного советского ученого А.А. Первозванского [1] развивается так называемый «арифметический менеджмент» с широким использованием математики и системного подхода к решению проблем управления. Имитационные модели анализа организационно-экономических процессов с целью

выяснения динамики их развития представлены в [2, 8]. В [3] авторами была предложена функциональная структура, технологическая схема и модели технологических процессов звена сбыта типовой производственно-сбытовой системы. При этом производственное звено рассматривалось как некоторый пассивный источник, осуществляющий поставку товаров на склад звена сбыта. В данной статье планируется перейти к построению функциональной структуры, технологической схемы, модели технологических процессов производственного звена и взаимосвязи между этими двумя звеньями в условиях, характеризующихся случайностью и неопределенностью их основных параметров и показателей.

Цель и объект исследования

Целью работы является компьютерное моделирование производственно-сбытовой системы для исследования организационной динамики ее функционирования. Здесь предлагаются два производственных модуля. Функциональная структура первого модуля приведена на рис. 1.

Все основные функции производственного звена наглядно отображены в этой функциональной структуре. Предполагается наличие внутреннего склада производства. Данная функциональная структура характерна для производственно-сбытовых систем, в которых объемы производства достаточно сильно коррелированы со сбытом, например, в пищевой промышленности, где существенную роль играет срок хранения или срок годности товаров. Следующая функциональная структура производственного звена производственно-сбытовой системы (рис. 2) является более универсальной. Здесь блок «Запасы» играет достаточно самостоятельную роль в качестве не только заводского склада, но в некоторой степени и оптовой базы.

Все основные функции производственного звена также наглядно отображены

в функциональной структуре. Поясним лишь назначение блока «Анализ заказов». В зависимости от объемов фактических запасов товаров на складе и некоторых других параметров производства определяются соотношения между интенсивностями выполнения заказов из запасов производства и за счет продукции, подлежащей изготовлению на производстве.

Технологические схемы модулей

Исходя из цели данной работы, заключающейся в исследовании организационной динамики функционирования производственного звена и функциональной структуры первого модуля, построим следующую технологическую схему функционирования производственно-сбытовой системы (рис. 3).

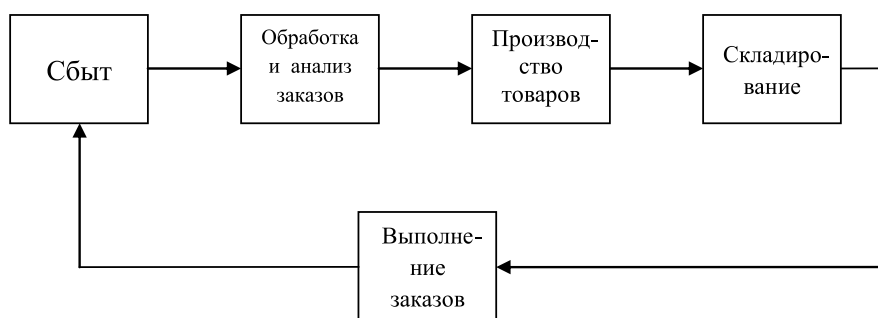
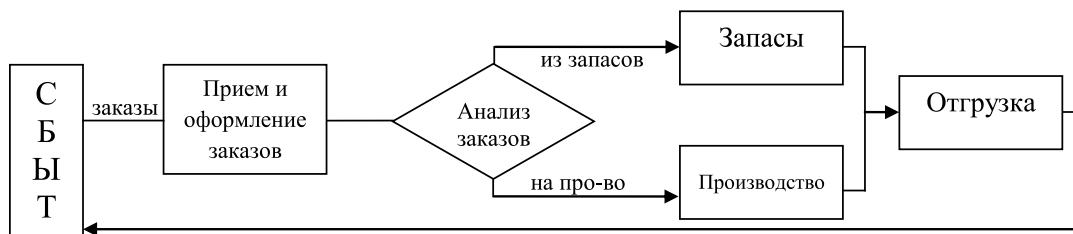


Рис. 1. Функциональная структура первого модуля



2

Рис. 2. Функциональная структура второго модуля

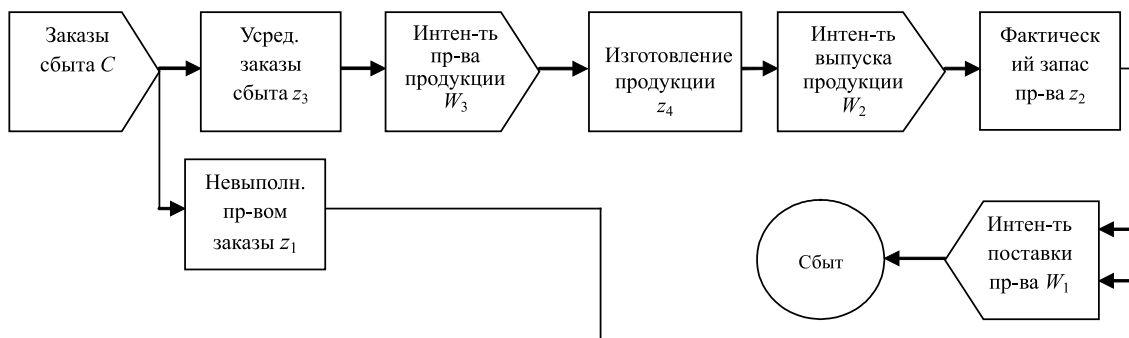


Рис. 3. Технологическая схема первого модуля

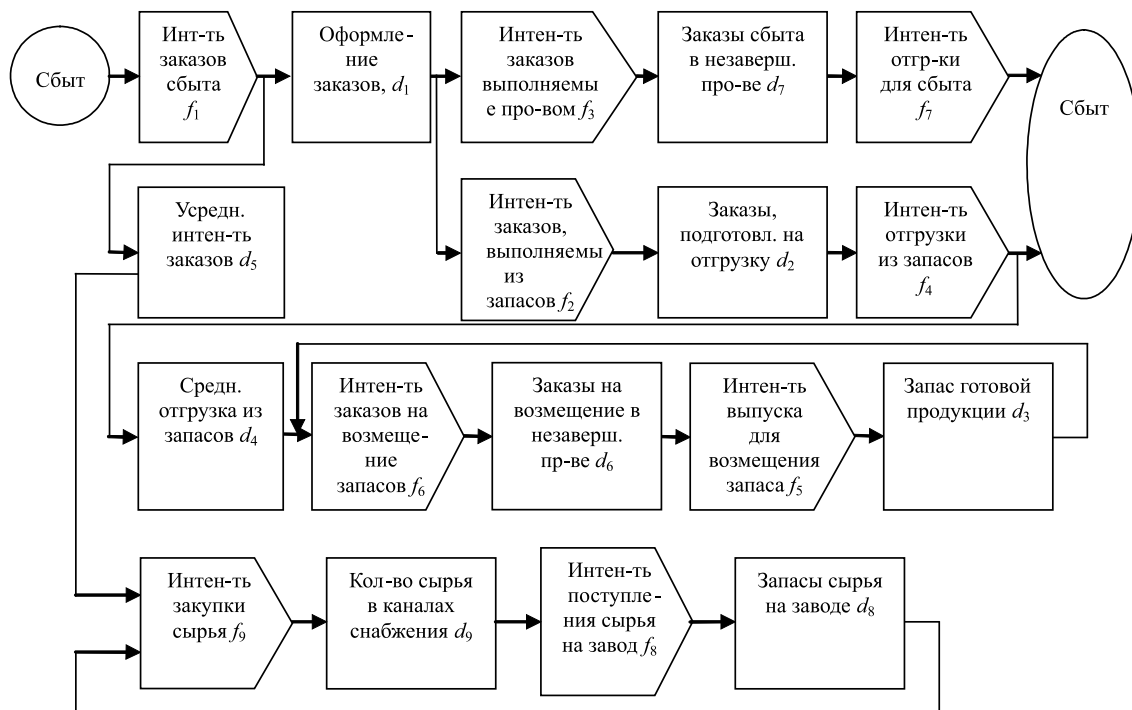


Рис. 4. Технологическая схема второго модуля

На основе принципа «проточного резервуара» [7] этапы технологического процесса, соответствующие интенсивностям материальных и информационных потоков, чередуются с этапами формирования объемных параметров процесса. Следовательно, величины объемов (на рисунке показаны в виде прямоугольника) вычисляются как разность между входной и выходной интенсивностями блоков.

Интенсивность заказов сбыта C представляет собой, в зависимости от вида продукции, непрерывную или целочисленную случайную величину. Усредненное значение заказов сбыта z_3 является важным показателем для планирования интенсивности W_3 выпуска продукции. Процесс изготовления продукции и интенсивность выпуска готовой продукции отображены параметрами z_4 и W_2 . Следуя принципу «проточного резервуара» параметры W_2 и W_1 являются входом и выходом блока фактического запаса z_2 на складе производства. Интенсивность поставки продукции W_1 для сбыта зависит также от объема невыполненных производством заказов z_1 .

Существенным отличием этой схемы от первой является не только указанное выше расширение роли заводского склада, но и учет фактора обеспечения производства соответствующим сырьем.

На начальных этапах схемы, характеризуемых параметрами d_1, f_2, f_3 , осуществ-

ляются оформление поступивших заказов и принятие решений о соотношениях интенсивностей выполнения заказов из запасов и за счет производства. Следующие две параллельные цепочки блоков, определяемые, соответственно, параметрами d_7, f_7 и d_2, f_4 завершают процессы выполнения заказов как за счет запасов, так и за счет производства продукции.

Параметр d_4 , соответствующий величине средней отгрузки продукции из запасов, является основой для определения объемов продукции, необходимых для возмещения запасов. С этого блока начинается цепочка технологической схемы, характеризующая параметрами f_6, d_6, f_5, d_3 и отвечающая за возмещение запасов продукции на складе производства. Другая цепочка технологической схемы, начинающаяся с блока «Усредненная интенсивность заказов» и характеризующая параметрами d_5, f_9, d_9, f_8, d_8 , относится к процессам обеспечения производства необходимым сырьем.

Уравнения процессов

Начнем с описания уравнений процессов, протекающих в технологической схеме, приведенной на рис. 3. Сначала определим объемные параметры процесса в фиксированные моменты времени. Усредненное значение заказов сбыта является важным параметром системы, на котором основываются планы по определению интенсив-

ности производства продукции. Величину z_3 получают как предшествующее значение этого параметра, скорректированное на некоторую долю разности между интенсивностью заказов сбыта в течение последнего интервала времени $C[t_j - t_{j-1}]$ и рассчитанным ранее $z_3[t_{j-1}]$

$$z_3[t_j] = z_3[t_{j-1}] + \tau \left(\frac{1}{b_4} \right) (C[t_j - t_{j-1}] - z_3[t_{j-1}]), \quad (1)$$

где τ – интервал времени между решениями уравнений (в единицах времени).

Здесь константа b_4 является долей разности, на которую необходимо корректировать интенсивность заказов звена сбыта. Следующим объемным параметром является величина продукции, находящейся на стадии изготовления. Это значение определяется уравнением

$$z_4[t_j] = z_4[t_{j-1}] + \tau (W_3[t_j - t_{j-1}] - W_2[t_j - t_{j-1}]), \quad (2)$$

Объем незавершенного производства $z_4[t_j]$, в соответствии с принципом «проточного резервуара», определяется как предшествующее значение этого параметра, скорректированное на разность между планируемым значением интенсивности производства продукции на входе W_3 и интенсивностью выпуска продукции на выходе W_2 .

Аналогично определяются параметры z_2 и z_1 , представляющие собой соответственно величину фактического запаса на складе и объем невыполненных производством заказов сбыта

$$z_2[t_j] = z_2[t_{j-1}] + \tau (W_2[t_j - t_{j-1}] - W_1[t_j - t_{j-1}]), \quad (3)$$

$$z_1[t_j] = z_1[t_{j-1}] + \tau (C[t_j - t_{j-1}] - W_1[t_j - t_{j-1}]), \quad (4)$$

Перейдем к уравнениям интенсивностей. Так как в блоке «Заказы сбыта» формируется внешний поток спроса, определяемый звеном сбыта, начнем с описания процессов блока «Интенсивность производства продукции».

Интенсивность производства продукции определяется следующим уравнением

$$W_3[t_{j+1} - t_j] = \begin{cases} g_1, & \text{если } g_1 \leq b_6 \\ b_6, & \text{если } g_1 > b_6 \end{cases} \quad (5)$$

где $g_1 = C[t_{j+1} - t_j] + \frac{1}{b_5} (b_3 z_3[t_j] - z_2[t_{j-1}])$ – планируемая производственная мощность;

b_3 – коэффициент пропорциональности между усредненным заказом сбыта и желательным запасом склада производства.

Если предельная производственная мощность b_6 окажется меньше планируемой, то значение интенсивности W_3 равняется левой части того неравенства, которое справедливо в конкретном случае.

Смысл этого уравнения достаточно прозрачен. Очевидно, интенсивность производства продукции будет, в первую очередь, зависеть от интенсивности заказов сбыта $C[t_j - t_{j-1}]$. Второе слагаемое уравнения является корректировкой сложившейся интенсивности в зависимости от разности между желательным $b_3 z_3[t_j]$ и фактическим $z_2[t_j]$ запасами с учетом запаздывания b_6 , которое является реакцией системы на возникновение дефицита товаров продукции в запасе. Из выражения (5) следует, что эти рассуждения правомочны только при условии не превышения предельной производственной мощности b_6 .

Для определения интенсивности выпуска продукции используется уравнение запаздывания первого порядка

$$W_2[t_{j+1} - t_j] = \frac{z_4[t_j]}{b_8}, \quad (6)$$

где b_8 – запаздывание, связанное с длительностью затрат по времени производства продукции.

Для определения интенсивности поставки продукции с производства звену сбыта необходимо учесть ряд факторов, связанных не только с наличием фактического запаса, но и с величиной накопившихся невыполненных заказов, а также с запаздываниями транспортного и организационного характеров. С учетом сказанного для вычисления интенсивности поставки продукции с производства звену сбыта получим выражение

$$W_1[t_{j+1} - t_j] = \begin{cases} g_2, & \text{если } g_2 \leq \frac{z_2[t_j]}{\tau} \\ \frac{z_2[t_j]}{\tau}, & \text{если } \frac{z_2[t_j]}{\tau} < g_2 \end{cases} \quad (7)$$

где $g_2 = \frac{z_1[t_j]}{\left(b_1 + \frac{b_2 b_3 z_3[t_j]}{z_2[t_j]} \right)}$; b_1 – минимальное

запаздывание выполнения заказа звеном сбыта; b_2 – запаздывание выполнения заказов организационного характера.

Значение интенсивности $W_1[t_{j+1} - t_j]$ равняется левой части того неравенства, которое справедливо в конкретном случае.

Моделирование спроса на продукцию

Моделирование спроса на продукцию в зависимости от ситуаций и исходных данных может быть осуществлено двумя способами.

В первом случае предполагаются известными закономерности изменения спроса, например, в зависимости от сезона (для сельхозпродуктов или нефтепродуктов) или в зависимости от других факторов. Тогда моделирование спроса осуществляется генерированием значения по заданным законам распределения. Во втором случае на спрос существенное влияние оказывает изменение цен на продукцию.

Начнем с первого случая. Пусть спрос образует случайный поток $\{t_j, S_j\}$. Моделирование моментов поступлений заказов $\{t_j\}$ рассмотрим для достаточно общего случая, когда множество $T = \{t_j\}$ образует стационарный поток Пальма с заданной функцией плотности $\phi(\tau)$ интервалов между элементами, начиная со второго интервала потока T . Для определения моментов t_j воспользуемся стандартной формулой

$$t_j = t_{j-1} + \tau_j, j = 1, 2, \dots, n,$$

где τ_j – интервалы между элементами потока T .

Для моделирования потоков Пальма недостаточно знания $\phi(\tau)$, так как функция плотности первого интервала обычно отличается от $\phi(\tau)$, т.е.

$$\phi_1(\tau) \neq \phi(\tau).$$

Поэтому для определения $\phi_1(\tau)$ надо воспользоваться формулой Пальма [5]

$$\phi_1(\tau_1) = \lambda \left(1 - \int_0^{\tau_1} \phi(\tau) d\tau \right), \quad (8)$$

где λ – интенсивность потока.

Значения интервалов τ_j между элементами потока T определяются с помощью метода обратной функции моделирования непрерывных случайных величин, принцип которого формулируется в виде теоремы [5]: «Случайная величина τ , реализации которой определяются из выражения

$$\mathcal{G}(t) = \int \phi(\tau) d\tau = u \text{ или } \tau_1 = \mathcal{G}^{-1}(u), \quad (9)$$

где u – случайная величина, равномерно распределенная на отрезке $[0, 1]$, имеет плотность распределения $\phi(\tau)$ ».

Или можно воспользоваться основным методом моделирования дискретных величин, основанным на теореме [5]: «Величина τ_k , заданная в виде таблицы

$$\begin{pmatrix} \tau_1 \tau_2 \dots \tau_m \\ p_1 p_2 \dots p_m \end{pmatrix},$$

наступает с вероятностью p_k при выполнении условия $u \in \Delta_k$, где $\Delta_k = p_k$ ».

Если функция плотности $\phi(\tau)$ интервалов между элементами потока T является непрерывной случайной величиной и подчиняется одному из известных стандартных теоретических законов распределения, то для моделирования значений интервалов τ_j между элементами потока T можно воспользоваться формулами, приведенными в таблице [4].

С учетом вышесказанного построен алгоритм моделирования спроса потребителей, включающий следующие шаги.

Шаг 1. Ввод исходных данных.

Шаг 2. Определение по формуле Пальма (8) функции плотности $\phi_1(\tau_1)$.

Шаг 3. Используя (9), определение зависимостей

$$\tau_1 = \mathcal{G}_1^{-1}(u_1) \text{ и } \tau_j = \mathcal{G}^{-1}(u_j), j > 1$$

и вычисление интервалов между моментами поступления заказов.

Шаг 4. Вычисление по формуле $t_j = t_{j-1} + \tau_j$ элементов потока $\{t_j\}$.

Шаг 5. Используя метод обратной функции определение зависимости

$$s(t_j) = \Phi^{-1}(u_j)$$

Шаг 6. Проверка $t_j \leq IM$ (IM – интервал моделирования). Если да, то на шаг 2.

Шаг 7. Вывод результатов.

Шаг 8. Конец.

Рассмотрим второй способ моделирования спроса, когда на спрос оказывает влияние цена продукции.

$$S[t_j - t_{j-1}] = A + BP_{j-1} + U. \quad (10)$$

Здесь коэффициенты A и B определяются стандартными эконометрическими методами. U – случайная величина, характеризующие колебания предпочтений и доходов потребителей и другие факторы, влияющие на спрос.

Алгоритм процесса функционирования производства

Одной из основных задач управления процессом функционирования производства является достижение сбалансированного функционирования всех составляющих производства во времени, чтобы работа протекала в определенном ритме, обеспечивающем равномерный выпуск продукции. Однако слишком упрощенная структура не обеспечивает надежного и оптимального функционирования производства, а сложная структура снижает эффективность управления. Поэтому сейчас много внимания уделяется рационализации структур управления производственно-бытовыми системами.

Перейдем к построению алгоритма функционирования на основе технологической схемы, приведенной на рис. 3.

Шаг 1. Ввод исходных данных.

Шаг 2. Моделирование внешнего потока спроса $C[t_{j+1} - t_j]$.

Шаг 3. Вычисление усредненного значения заказов сбыта $z_3[t_j]$ по (1).

Шаг 4. Вычисление объема невыполненных производством заказов $z_1[t_j]$ по (4).

Шаг 5. Вычисление интенсивности производства товара $W_3[t_{j+1} - t_j]$ по (5).

Шаг 6. Вычисление величины продукции $z_4[t_j]$, находящейся на различных стадиях изготовления и подлежащей дальнейшей обработке или сборке на данном производстве, по (2).

Шаг 7. Вычисление интенсивности выпуска готовой продукции $W_2[t_{j+1} - t_j]$ по (6).

Шаг 8. Вычисление объема фактического запаса производства в момент заказа $z_2[t_j]$ по (3).

Шаг 9. Вычисление интенсивности поставки продукции звену сбыта $W_1[t_{j+1} - t_j]$ по (7).

Шаг 10. Вывод результатов.

Шаг 11. Конец.

Для рассматриваемой схемы производственно-сбытовой системы чрезвычайно важным является направление линий, характеризующих взаимозависимости между ее элементами, которые изображены на рис. 3. Прямоугольные блоки являются вводами в поток решений, т.е. информация вводится в пункт, где принимаются решения, которые управляют действием, являющимся источником новой информации. Решения регулируют интенсивности потоков между объемными параметрами процесса. Интенсивности потоков приводят к изменениям объемных параметров процесса. Однако интенсивности потоков сами по себе не являются вводами к решениям. Интенсивность потока в данный момент вообще не поддается измерению, остается неизвестным и не может оказывать влияния на принятие решений в данный конкретный момент. При рассмотрении какого-либо интервала времени в первую очередь решаются уравнения для указанных выше блоков, а затем полученные результаты используются в уравнениях интенсивностей.

Заключение и перспектива развития исследований

В этой статье динамическое представление логистических модулей позволило исследовать поведение в целом производственно-сбытовой системы, которое не

может быть выяснено рассмотрением отдельных ее звеньев. Проведенное в работе исследование показало, что эффективность и устойчивость этих модулей зависит от взаимодействия потоковых процессов в системе, стабильности производственных и сбытовых функций. Описанные логистические модули предназначены для анализа функционирования всех логистических процессов и потоков, в дополнение к созданию условий для повышения эффективности логистических процессов.

Анализ научных разработок отечественных и зарубежных авторов в области изучения проблем организации и управления производственно-сбытовыми системами [9–10] показал, что использование рационального принятия решений в производственно-сбытовых системах имеет важное значение для улучшения эффективности логистических процессов.

Дальнейшая работа будет сосредоточена на применении этого метода в реальных задачах и использовании передовых методов динамического анализа процессов производственно-сбытовой системы. Решение этой проблемы связано с исследованием и моделированием производственно-сбытовых систем как сложных объектов управления. Полученные в работе имитационно-аналитические модели типовых модулей являются основой для создания информационной системы анализа и планирования процессов в логистических цепочках поставок.

Список литературы

1. Первозванский А.А. Математические модели в управлении производством. – М.: Наука, 1975.
2. Емельянов А.А. Имитационное моделирование экономических процессов. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 268 с.
3. Шукаев Д.Н., Ергалиева Н.О., Ламашева Ж.Б., Абдикадырова А.А. Имитационно-аналитическое моделирование системы сбыта // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3; URL: <http://www.science-education.ru/117-13358>
4. Пугачев В.С. Теория случайных чисел и их применение к задачам автоматического управления. – М.: Физматгиз, 1960. – 883 с.
5. Шукаев Д.Н. Компьютерное моделирование. – Алматы: КазНТУ, 2004. – 140 с.
6. Beer S. Cybernetics and Management. – London: The English University Press, 1959.
7. Forrester J.W. Industrial Dynamics. – Cambridge, MA: MIT Press, 1961.
8. Thomas N.N. Computer simulation with models of economic systems. – NY: John Wiley and Sons, 1971.
9. Kelton W.D., Law A.M. Simulation modeling and analysis. – NY: Mc Graw-Hill, 1991. – 759 p.
10. Sadjadi S.J., Yazdian S.A., Shahanaghi K. Optimal pricing, lot-sizing and marketing planning in a capacitated and imperfect production system // Computers and Industrial Engineering. – 2012. – Vol. 62, Issue 1. – P. 349–358.