

## ИМИТАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ СБЫТА

Шукаев Д.Н., Ергалиева Н.О., Ламашева Ж.Б., Абдикадырова А.А.

*Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан (050013, Алматы, ул. Сатпаева 22а), e-mail: [zhanarlb@mail.ru](mailto:zhanarlb@mail.ru)*

Статья посвящена изучению динамики функционирования производственно-сбытовых систем. В работе рассмотрены методы моделирования, анализа и принятия решений на основе нескольких технологических схем функционирования системы сбыта. Одна из технологических схем функционирования основана на принципе «проточного резервуара». Этот принцип впервые использован Дж. Форрестером и предполагает чередование блоков, характеризующих показатели объемов с показателями интенсивностей потоков. Описаны уравнения материальных и информационных потоков для исследования процессов функционирования и принятия решений в производственно-сбытовых системах. В работе предлагаются алгоритм моделирования спроса и алгоритмы функционирования технологических схем системы сбыта. Полученные в работе имитационно-аналитические модели предложенных модулей являются основой для создания информационной системы анализа и планирования процессов в логистических системах.

Ключевые слова: логистика, цепочка поставок, моделирование, система сбыта, технологическая схема.

## SIMULATIONBASEDANALYSIS OF MARKETING SYSTEMS AND PRODUCT DISTRIBUTION NETWORKS

Shukayev D.N., Yergaliyeva N.O., Lamasheva Z.B., Abdikadyrova A.A.

*Kazakh national technical university named after K.I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan (050013, Almaty, str. Satpayev 22a), e-mail: [zhanarlb@mail.ru](mailto:zhanarlb@mail.ru)*

This paper studies the dynamics of functioning of product distribution networks and marketing systems. The paper discusses methods for modeling, analysis and decision-making based on several technological schemes of functioning marketing systems. One of the technological schemes of functioning is based on the principle of "through-flow tank". This principle was first used by J. Forrester and assumes alternation of blocks characterizing the indicators of volumes with intensity indicator offflows. The equations describing material and information flows are introduced to facilitate analysis of operational processes and of decision-making in product distribution systems. In this paper, we propose the simulation algorithm of demand and algorithms of technological schemes of functioning marketing systems. The proposed simulation models and analytical modules serve as the basis for information system analysis and for planning processes in logistics systems.

Keywords: logistics, supply chain, modeling, marketing system, technological scheme.

### Введение

Совершенствование методов управления производством и повышение его эффективности является проблемой, которая никогда не теряет своей актуальности. Одним из главных инструментов этой проблемы, на современном этапе, является компьютерное моделирование и имитационный анализ организационно-экономических процессов с целью выяснения динамики развития производства. Учитывая огромное количество работ, посвященных различным аспектам моделирования и анализа производственных процессов, не считаем для себя возможным проведение адекватного обзора существующей современной литературы. Поэтому отметим лишь основополагающие труды, изложенные во второй половине прошлого века в монографиях [2,6,7]. В работе [6] организация рассматривается в качестве самонастраивающейся системы динамического характера. В [7] предлагается метод

моделирования предприятия как динамического экономического объекта в рамках информационной взаимосвязи между этапами производственного процесса. В [2] 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 были разработаны в [1, 10]. В предлагаемой нами статье принципы построения уравнений материальных и информационных потоков, заложенные в указанных выше трудах, обобщены для современных логистических систем, характеризуемых случайностью, неопределенностью и возмущенностью их основных параметров и показателей.

### Объект исследования

Целью данной работы является разработка методов моделирования, анализа и принятия решений на основе типовых логистических модулей. Каждая из этих модулей предназначена для достижения определенных целей – от анализа влияния отдельных показателей на эффективность производственного процесса до получения траектории динамики развития производственной системы. На рис.1 приведена общая схема объекта исследования, состоящая из производства со своим складом и звена сбыта, также имеющего свой склад.

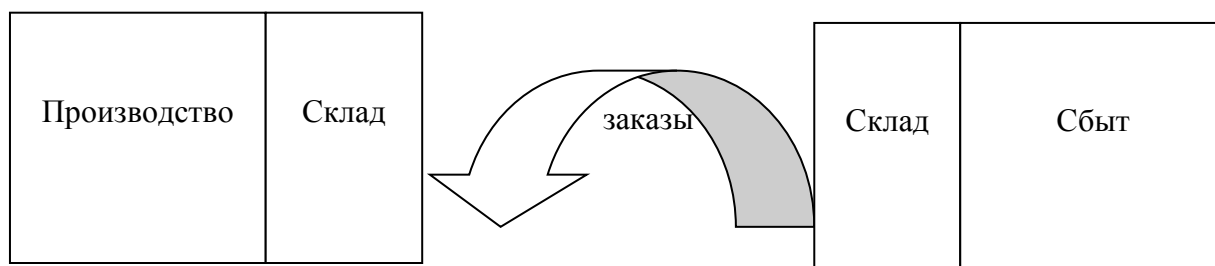


Рисунок 1. Объект исследования

В данной работе ограничимся только звеном сбыта, т.е. производство пока будет играть пассивную роль оптовой базы поставщика товаров. Рассмотрим несколько типовых логистических схем функционирования объекта исследования. Первая схема приведена на рис. 2 и предназначена для анализа влияния отдельных параметров системы на ее эффективность.

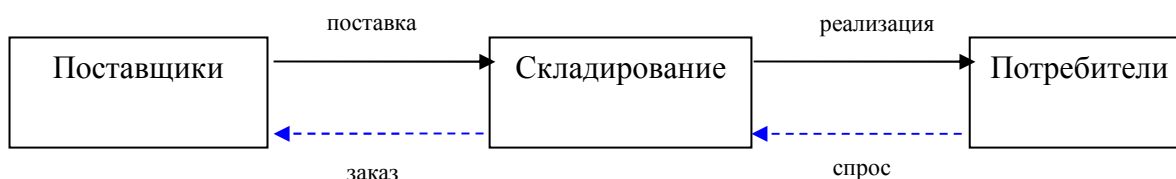


Рисунок 2. Логистическая схема функционирования объекта исследования

В блоке «Потребление» формируется случайный поток требований  $\{t, S\}$ , где  $t$  – моменты поступления требований, а  $S$  – значение спроса. В блоках «Складирование» и «Поставка» соответственно осуществляются хранение и организация поставок на склад.

Основными параметрами данной системы являются величина (случайная) спроса  $S$ , критическая величина товара на складе  $V^{cr}$ , стратегия определения величины поставок из оптовой базы, основанная на выборе параметра  $\alpha$ .

Вторая схема приведена на рисунке 3 и характеризует динамику функционирования звена сбыта логистической системы. Принципиальным отличием этой схемы от первой является не только учет объемных параметров, но и интенсивностей материальных и информационных потоков системы и влияния на эти интенсивности фактора запаздывания.

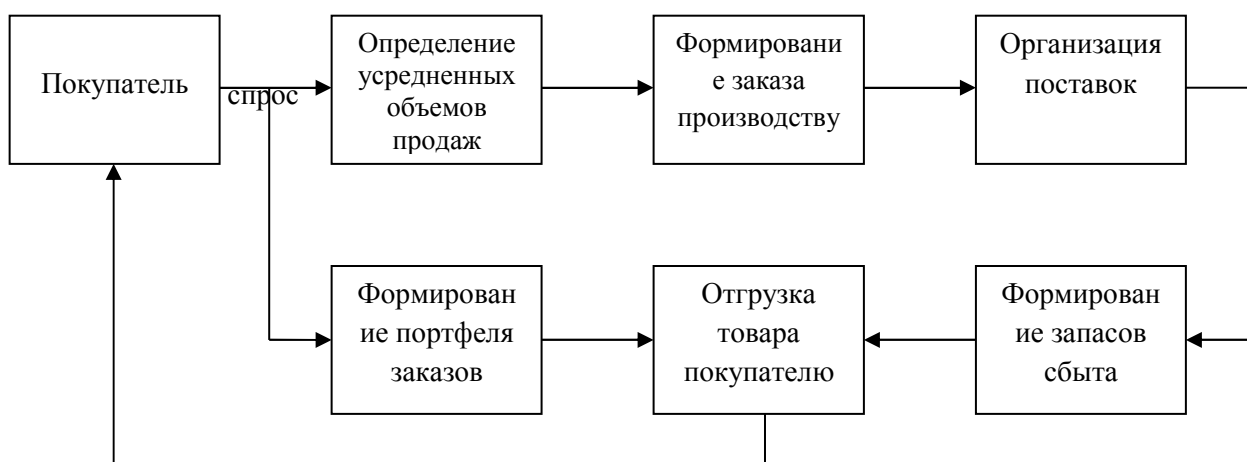


Рисунок 3. Функциональная структура

### Технологические схемы модулей

Исходя из цели первого модуля, заключающегося в анализе влияния его основных параметров на эффективность процессов, построим следующую технологическую схему функционирования системы (рис. 4).

Из этого рисунка можно наглядно представить значение и суть большинства параметров системы. Функционирование модуля начинается с моделирования потока требований (спроса) потребителей. Средний спрос  $S_m$ , определяемый в блоке 2 для фиксированных моментов времени (начало месяца, декады или недели), является основой для планирования объемов поставок. Параметры  $CX$ ,  $CP$ ,  $CD$  являются интегральными значениями, соответственно, затрат на хранение товара, организацию поставок и издержек дефицита товара. Параметр  $\tau$  характеризует длительность организации поставок.

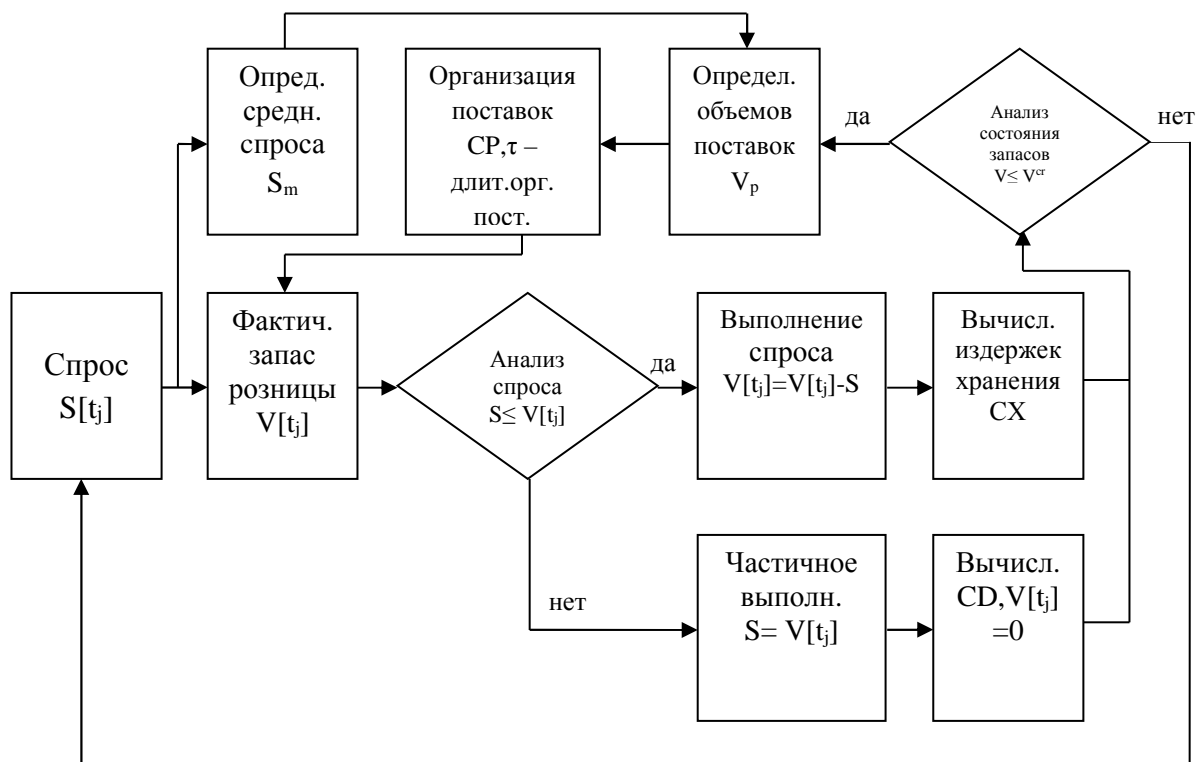


Рисунок 4. Технологическая схема модуля 1

Построим технологическую схему функционирования второго модуля (рис. 5) на основе принципа «проточного резервуара». Этот принцип впервые использован Дж. Форрестером [7] и предполагает чередование блоков, характеризующих показатели объемов с показателями интенсивностей потоков. Действительно, величины объемов получаются как разница между входной и выходной интенсивностями блоков.

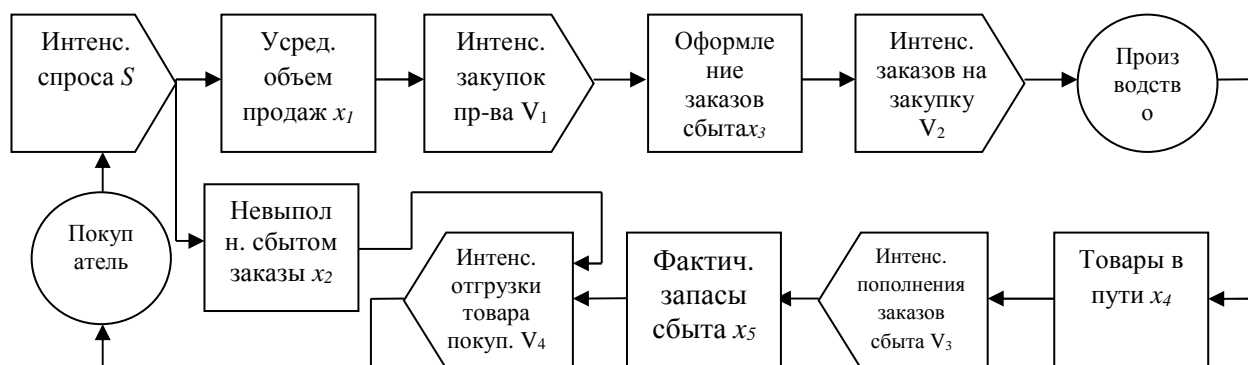


Рисунок 5. Технологическая схема модуля 2

### Уравнения процессов

Опишем уравнения процессов, протекающих в технологической схеме, приведенной на рис.5. Так как в блоке «интенсивность спроса» формируется внешний поток спроса,

начнем с описания процессов блока «усредненный объем продаж». Усредненное значение спроса (или интенсивности продаж) является важным параметром системы, на который основываются планы по формированию запасов товара на складе и объемы заказов для восполнения этих запасов. Усредненное значение продаж  $x_1[t_j]$ , где  $t_j$  – текущий момент времени, получается как предшествующее значение усредненных продаж в момент времени  $t_i$ , скорректированное на некоторую долю разности между интенсивностью продаж в течение последнего интервала времени  $S[t_j - t_i]$  и рассчитанным ранее средним значением продаж  $x_1[t_i]$

$$x_1[t_j] = x_1[t_i] + \tau \left( \frac{1}{a_1} \right) * (S[t_j - t_i] - x_1[t_i]), \text{ где } \tau = t_j - t_i. \quad (1)$$

Здесь константа  $a_1$  является долей разности, на которую необходимо корректировать интенсивность продаж товаров.

Интенсивность закупок от поставщиков  $V_1[t_k - t_j]$  от  $t_j$  до  $t_k$ , в последующем интервале определяется уравнением (2)

$$V_1[t_k - t_j] = S[t_j - t_i] + \frac{1}{a_2} (a_3 x_1[t_j] - x_5[t_i]), \quad (2)$$

Смысл этого уравнения также достаточно прозрачен. Очевидно, интенсивность розничных закупок будет в первую очередь зависеть от сложившейся интенсивности продаж  $S[t_j - t_i]$  для восполнения запаса взамен проданных. Вторая часть уравнения является корректировкой сложившейся интенсивности в зависимости от разности между желательным  $a_3 x_1[t_j]$  и фактическими  $x_5[t_i]$  запасами с учетом запаздывания  $a_2$  реакции системы на возникновение дефицита товаров в запасе. Здесь  $a_3$  – коэффициент пропорциональности между усредненным значением продаж и желательным запасом сбыта.

Величина заказов звена сбыта  $x_3[t_j]$ , которые находятся на стадии оформления, определяется из уравнения (3)

$$x_3[t_j] = x_3[t_i] + \tau (V_1[t_j - t_i] - V_2[t_j - t_i]) \quad (3)$$

В соответствии с принципом «проточного резервуара» переменная  $V_2[t_j - t_i]$  является выданной звеном сбыта интенсивностью закупок товаров и определяется уравнением (4)

$$V_2[t_k - t_j] = \frac{x_3[t_j]}{a_2} \quad (4)$$

где  $a_2$  – запаздывание оформления заказа в звене сбыта.

Организация поставок товара в звене сбыта, отраженные в блоках «товары в пути» и «интенсивность пополнения запасов», описываются уравнениями (5) и (6) и имеют аналогично с (3) и (4) структуру построения

$$x_4[t_j] = x_4[t_i] + \tau(W_1[t_j - t_i] - V_3[t_j - t_i]), \quad (5)$$

$$V_3[t_k - t_j] = \frac{x_4[t_j]}{a_4} \quad (6)$$

Здесь  $a_4$  – запаздывание транспортировки товаров в звене сбыта.

$V_3$  – поставки, получаемые звеном сбыта.

$W_1$  – поставки, осуществляемые со склада производства.

Аналогично можно получить и уравнение, определяющее фактические запасы сбыта  $x_5$  и величину невыполненных сбытом требований  $x_2$

$$x_5[t_j] = x_5[t_i] + \tau(V_3[t_j - t_i] - V_4[t_j - t_i]) \quad (7)$$

$$x_2[t_j] = x_2[t_i] + \tau(S[t_j - t_i] - V_4[t_j - t_i]) \quad (8)$$

А для интенсивности отгрузки товара потребителям  $V_4[t_k - t_j]$  получим выражение

$$V_4[t_k - t_j] = \begin{cases} \frac{x_2[t_j]}{a_5 + a_6 * a_3 * x_1[t_j] / x_2[t_j]} \leq \frac{x_5[t_j]}{\tau} \\ \frac{x_5[t_j]}{\tau} < \frac{x_2[t_j]}{a_5 + a_6 * a_3 * x_1[t_j] / x_5[t_j]} \end{cases}, \quad (9)$$

где  $a_5$  – минимальное запаздывание выполнения заказа звеном сбыта;  $a_6$  – запаздывание выполнения заказов организационного характера.

Значение интенсивности  $V_4$  равняется левой части того неравенства, которое справедливо в конкретном случае.

### **Алгоритм процесса функционирования звена сбыта**

Начнем с подалгоритма моделирования потока  $\{t_j, S_i\}$ . Моделирование моментов поступлений требований  $\{t_j\}$  рассмотрим для достаточно общего случая, когда множество  $T = \{t_j\}$  образует стационарный поток Пальма с заданной функцией плотности  $\varphi(\tau)$  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  $\tau_j$  – интервалы между элементами цепи  $T$ .

Для моделирования потоков Пальма недостаточно знание  $\varphi(\tau)$ , так как функция плотности первого интервала обычно отличается от  $\varphi(\tau)$ , т.е.  $\varphi_1(\tau) \neq \varphi(\tau)$ .

Поэтому для определения  $\varphi_1(\tau)$  надо воспользоваться формулой Пальма

$$\varphi_1(\tau_1) = \lambda \left( 1 - \int_0^{\tau_1} \varphi(\tau) d\tau \right), \quad (8)$$

где  $\lambda$  – интенсивность потока.

Значения интервалов  $\tau_j$  между элементами цепи  $T$  определяются методом обратной функции моделирования непрерывных случайных величин, принцип которого формулируется в виде теоремы: «Случайная величина  $\tau$ , реализации которой определяются из выражения

$$\vartheta(\tau) = \int \varphi(\tau) d\tau = u \text{ или } \tau = \vartheta^{-1}(u), \quad (9)$$

где  $u$  – случайная величина, равномерно распределенная на отрезке  $[0, 1]$ , имеет плотность распределения  $\varphi(\tau)$ » или основным методом моделирования дискретных величин, основанным на теореме: «Величина  $\tau_k$ , 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  $\Delta_k = p_k$ » [3].

В качестве базовой случайной величины  $\xi$  рассматривается случайная величина, равномерно распределенная в интервале  $[0, 1]$ . Доказательства данных теорем можно найти в [8].

Если функция плотности  $\varphi(\tau)$  интервалов между элементами потока  $T$  является непрерывной случайной величиной и подчиняется одному из известных теоретических законов распределения, то для моделирования значений интервалов  $\tau_j$  между элементами цепи  $T$  можно воспользоваться формулами, приведенными, например в [8].

С учетом вышесказанного подалгоритм «Спрос» моделирования требований потребителей состоит из 4 шагов.

Шаг 1. Определение по формуле Пальма (8) функции плотности  $\varphi_1(\tau_1)$ .

Шаг 2. Используя формулы (9) определение зависимостей

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

и вычисление интервалов между моментами поступления требований.

Шаг 3. Вычисление по формуле  $t_j = t_{j-1} + \tau_j$  элементов цепи  $\{t_j\}$ .

Шаг 4. Используя метод обратной функции определение зависимости  $s[t_j] = \Phi^{-1}(u_j)$

для нахождения значений требований потребителей в момент времени  $t_j$ .

Перейдем к построению алгоритма функционирования технологической схемы первого модуля (рис. 4).

Шаг 1. Моделирование потока требований  $S(t_j)$  с помощью подалгоритма «Спрос».

Шаг 2а. Вычисление среднего спроса  $S_m$ .

Шаг 2б. Вычисление фактического запаса на складе  $V[t_j]$ .

Шаг 3. Проверка возможности удовлетворения спроса. Если уровень запаса больше спроса – переход на шаг 4, если меньше спроса – переход на шаг 6.

Шаг 4. Уменьшение уровня запасов на объем спроса  $V[t_j] = V[t_j] - S$ .

Шаг 5. Вычисление затрат на хранение товаров  $CX$ . Затраты на хранение включают арендную плату за склад, страховки, расходы на обслуживание и налоги и т.д.

Шаг 6. В случае, когда уровень запаса меньше спроса, оформление заказа на соответствующее количество товара.

Шаг 7. Вычисление издержки дефицита товара  $CD$ . Это издержки, связанные с неудовлетворенным спросом, возникающим в результате отсутствия товара на складе.

Шаг 8. Проверка состояний запасов  $V[t_j] \leq V^{cr}$ . Если нет, то переход на шаг 1.

Шаг 9. Вычисление объема поставок  $V_p$ .

Шаг 10. Вычисление затрат на организацию поставок  $CP$ . Это затраты, связанные с организацией заказа и его реализацией и доставкой товаров на склад. Переход на шаг 2б.

Рассмотренный алгоритм описывает систему управления запасами с фиксированным интервалом времени между заказами. Реализация текущего запаса в общем случае представляет собой случайный дискретный процесс, отражающий нестационарность и стохастичность спроса. Момент окончания каждой реализации случаен, но в одних случаях остаточный запас в момент поставки больше нуля, в других – равен нулю. Спрос на товары удовлетворяется за счет имеющегося запаса. Критический запас создается для защиты от возможного дефицита в случаях, когда реальный спрос оказывается больше, чем прогнозируемый, или, если время, необходимое для пополнения запаса, превышает прогнозируемое.

Перейдем к построению алгоритма функционирования технологической схемы второго модуля (рис.5).

Шаг 1. Моделирование по методу обратной функции интенсивности спроса покупателя  $S$ , которая является случайной величиной с известным распределением.



Шаг 2а. Определение усредненного объема продаж  $x_1[t_j]$  по формуле (1). Усреднение, в основе которого лежит зависимость, описываемая показательной функцией, дает наиболее весомый результат в том случае, когда оно охватывает данные, полученные в самое последнее время. Переход на шаг 3.

Шаг 2б. Вычисление невыполненных сбытом заказов  $x_5[t_j]$ . Переход на шаг 10.

Шаг 3. Вычисление интенсивности выдачи исходящих заказов  $V_1[t_j]$ .

Шаг 4. Вычисление величины заказов в звене сбыта, находящиеся на стадии оформления.

Шаг 5. Вычисление интенсивности заказов на закупку товаров, выданной звеном сбыта.

Шаг 6. Вычисление количество товаров, находящиеся в пути к звену сбыта  $x_4[t_j]$ , которая отображает транспортировку товаров из производства в звено сбыта.

Шаг 7. Определение интенсивности поставок, пополняющие запасы в звене сбыта  $V_3[t_k - t_j]$ .

Шаг 8. Вычисление величины фактического запаса в звене сбыта  $x_2[t_j]$ .

Шаг 9. Определение интенсивности отгрузки товара покупателю  $V_4[t_k - t_j]$ .

Интенсивности потоков отражают активность, в то время как объемы измеряют состояние, которое является результатом активности в системе. Уравнения интенсивности регулируют действия, которые должны произойти в системе за следующий интервал времени. Уравнения интенсивности, как и уравнения объемов, на протяжении каждого интервала времени решаются независимо одно от другого.

### **Заключение и перспектива развития исследований**

В статье предложена технологическая схема сбытовой системы с учетом случайности, неопределенности и возмущенности ее основных параметров и показателей. Описаны уравнения материальных и информационных потоков для исследования процессов управления и функционирования производственно-сбытовых систем. Также разработаны алгоритмы процессов функционирования предложенных модулей звена сбыта. Эти алгоритмы характеризуются простотой, эффективностью и отсутствием избыточности. Мы считаем, что эти технологические схемы модулей являются универсальными и актуальны не только для объекта исследования обсуждаемого в этой статье, но и для описания более сложной, составной схемы многомодульных логистических цепей.

Будущие исследования должны расширить систему сбыта для определенной предметной области. Как показывает анализ ряда современных работ в области

логистических систем [4, 5, 9], это потребует обработку сложных многоступенчатых движений с многочисленными поставщиками услуг и видов транспорта. Кроме того, технологические схемы функционирования системы сбыта нуждаются в дальнейшем улучшении. В перспективе, рассмотренный подход имитационного моделирования системы сбыта должен быть объединен с системой производства, обеспечивая тем самым полную основу для построения имитационных моделей реальных производственно-сбытовых систем и совершенствования процессов их функционирования. Также полученные в работе имитационно-аналитические модели типовых модулей являются основой для создания информационной системы анализа и планирования процессов в логистических системах.

### Список литературы

1. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1968. – 357 с.
2. Первозванский А.А. Математические модели в управлении производством. – М.: Наука, 1975. – 616 с.
3. Шукаев Д.Н. Компьютерное моделирование. – Алматы: КазНТУ, 2004. – 140 с.
4. Anjali S., Nitin S. Supply chain risk and security management: an interpretive structural modelling approach // *International Journal of Logistics Economics and Globalisation*. – 2012. – Vol. 4, No. 1. – P. 117-132.
5. Azadeh A. Modelling and improvement of supply chain with imprecise transportation delays and resilience factors / A. Azadeh, N. Atrchin, V. Salehi, H. Shojaei // *Journal of Logistics Research and Applications: A Leading Journal of Supply Chain Management*. – 2013. – P. 1-14. [http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13675567.2013.846308#.U1\\_ywHTy7jQ](http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13675567.2013.846308#.U1_ywHTy7jQ)
6. Beer S. *Cybernetics and Management*. – London: English Universities Press, 1959.
7. Forrester J.W. *Industrial Dynamics*. – Cambridge, MA: MIT Press, 1961.
8. Law A.M., Kelton W.D. *Simulation modeling and analysis*. – NY: McGraw-Hill, 2000. – 760 p.
9. Shukayev D.N. Modeling the processes of distribution of resource flows / D.N. Shukayev, V.Z. Abdullina, N.O. Yergaliyeva, Zh.B. Lamasheva // *Proceedings of the Romanian academy, Series A*. –2014. Vol. 15, Number 1. – P. 85–94.
10. Thomas N.N. *Computer simulation with models of economic systems*. – NY: John Wiley and Sons, 1971.

**Рецензенты:**

Бияшев Р.Г., д.т.н., профессор, зам. директора по прикладным, рисковым и инициативным проектам. Заведующий лабораторией информационной безопасности, г. Алматы.

Джурунтаев Д.З., д.т.н., профессор кафедры «Информационная безопасность» Казахского национального технического университета имени К.И. Сатпаева, г. Алматы.