

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОГИСТИКИ И СОГЛАСОВАНИЕ ТЕМПА ПРОИЗВОДСТВА ТОВАРОВ С ТЕМПОМ РЕАЛИЗАЦИИ

© 2016 ШЕРСТЕННИКОВ Ю. В., КАСЬЯН С. Я.

УДК 330.45:334.012.64

Шерстенников Ю. В., Касьян С. Я.

Моделирование логистики и согласование темпа производства товаров с темпом реализации

Экономической задачей современного высокотехнологического предприятия является оптимальное расширение собственной рыночной ниши и приведение производственных мощностей в соответствие с текущим спросом на продукцию. Важную роль в этой связи имеют вопросы оптимальной организации логистики предприятия, маркетинговые исследования текущего спроса и эффективная рекламная компания, цель которой – максимально использовать наличные производственные мощности и создать условия для развития, в частности для наращивания производственных мощностей. Цель статьи – разработка экономико-математической модели производственной деятельности предприятия с учетом логистики и рыночного спроса; применение разработанной модели для согласования темпа производства товара повседневного спроса с темпом их реализации. Проанализированы два варианта схем логистики предприятия. Исследовано влияние рекламной компании на расширение рыночной ниши предприятия. Разработана модель, позволяющая детально исследовать влияние рыночной конъюнктуры на темп продаж. Данную модель целесообразно применять в целях комплексного согласования темпа производства товара повседневного спроса с динамикой потоков реализации товаров и услуг.

Ключевые слова: логистика предприятия, рыночная конъюнктура, динамическая модель.

Рис.: 9. **Табл.:** 2. **Формул.:** 14. **Библ.:** 9.

Шерстенников Юрий Всеволодович – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры экономической кибернетики, Днепропетровский национальный университет им. Олесь Гончара (ул. Научная, 13, Днепр, 49050, Украина)

E-mail: hm001@ukr.net

Касьян Сергей Яковлевич – кандидат экономических наук, доцент, заместитель декана экономического факультета, Днепропетровский национальный университет им. Олесь Гончара (ул. Научная, 13, Днепр, 49050, Украина)

E-mail: yskasyan@ua.fm

УДК 330.45:334.012.64

Шерстенников Ю. В., Касьян С. Я. Моделирование логистики и узкокоординированного темпа производства товаров с темпом реализации

Економічним завданням сучасного високотехнологічного підприємства є оптимальне розширення власної ринкової ніші та приведення виробничих потужностей відповідно до поточного попиту на продукцію. Важливу роль у цьому зв'язку мають питання оптимальної організації логістики підприємства, маркетингові дослідження поточного попиту й ефективна рекламна компанія, мета якої – максимально використовувати наявні виробничі потужності та створити умови для розвитку й, зокрема, для нарощування виробничих потужностей. Мета статті – розробка економіко-математичної моделі виробничої діяльності підприємства з урахуванням логістики й ринкового попиту; застосування розробленої моделі для узгодження темпу виробництва товару повсякденного попиту з темпом їх реалізації. Проаналізовано два варіанти схем логістики підприємства. Досліджено вплив рекламної компанії на розширення ринкової ніші підприємства. Розроблено модель, що дозволяє детально досліджувати вплив ринкової кон'юнктури на темп продажів. Цю модель доцільно застосовувати з метою комплексного узгодження темпу виробництва товару повсякденного попиту з динамікою потоків реалізації товарів і послуг.

Ключові слова: логістика підприємства, ринкова кон'юнктура, динамічна модель.

Рис.: 9. **Табл.:** 2. **Формул.:** 14. **Бібл.:** 9.

Шерстенников Юрий Всеволодович – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри економічної кібернетики, Дніпропетровський національний університет ім. Олесь Гончара (вул. Наукова, 13, Дніпро, 49050, Україна)

E-mail: hm001@ukr.net

УДК 330.45:334.012.64

Sherstennykov Yu. V., Kasian S. Ya. The Modeling of Logistics and Coordination of the Rate of Commodities Production with the Rate of their Disposal

The economic objective of the modern high-tech enterprise is the optimal expansion of its own market niche and bringing the production capacities in accordance with the current demand for the products. An important role in this respect is played by issues of optimal organization of the enterprise logistics, marketing analysis of the current demand and effective advertising campaign aimed at maximal use of the available production capacity and creation of proper conditions for developing, in particular for increasing the production capacities. The purpose of the article is the elaboration of economic and mathematical models of enterprise production activity taking into account the logistics and market demand; the use of the elaborated model to harmonize the rate of production of everyday commodities with the rate of their disposal. Two variants of the enterprise logistics schemes are analyzed. The influence of the advertising company on expanding the enterprise market niche is studied. A model that allows conducting a detailed study of the influence of market conditions on the pace of sales has been developed. It is appropriate to apply the model for the integrated coordination of the production rate of commodities of everyday demand with the dynamics of flows of commodities and services disposal.

Keywords: enterprise logistics, market environment, dynamic model.

Fig.: 9. **Tabl.:** 2. **Formulae:** 14. **Bibl.:** 9.

Sherstennykov Yuriy V. – Candidate of Sciences (Physics and Mathematics), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economic Cybernetics, Dnipropetrovsk National University named after Oles Gonchar (13 Naukova Str., Dnipro, 49050, Ukraine)

E-mail: hm001@ukr.net

Касян Сергій Якович – кандидат економічних наук, доцент, заступник декана економічного факультету, Дніпропетровський національний університет ім. Олеса Гончара (вул. Наукова, 13, Дніпро, 49050, Україна)

E-mail: yskasyan@ua.fm

Постановка проблеми. Экономической задачей современного высокотехнологического предприятия является оптимальное расширение собственной рыночной ниши и приведение производственных мощностей в соответствие с текущим спросом на продукцию. Важную роль в этой связи имеют вопросы оптимальной организации логистики предприятия, маркетинговые исследования текущего спроса и эффективная рекламная кампания, цель которой – максимально использовать наличные производственные мощности и создать условия для развития и, в частности, для наращивания производственных мощностей.

Анализ последних исследований и публикаций. Исследованными являются многие аспекты планирования логистики предприятий, координирования ресурсных потоков на высокотехнологических предприятиях во взаимосвязи с обеспечением высокого уровня логистического сервиса [1–3]. А. Герасименко [6], М. Васелевский, Р. Патора [7], Ю. Пачковский, А. Максименко [8] уделяют большое внимание установке параметров взаимодействия спроса и предложения с учетом степени однородности информационных потоков и рыночной конкуренции, построению информационных логистических систем управления производством и реализацией, моделированию экономического поведения субъектов в процессе разработки логистики дистрибуции.

В современном информационном обществе и интерактивном маркетинговом пространстве большое внимание исследователей, практиков в сфере маркетинга, логистики уделяется анализу движения информационных, сырьевых, товарных потоков, который осуществляется, как правило, на основе использования логистического маркетингового подхода. Так, А. Герасименко исследует существующие в науке и практике формы и методы манипулирования информацией, подчеркивая использование теоретико-игровой модели вхождения на рынок. Исследователь предлагает матрицу результатов для динамической игры Р. Селтена с разной силой доминирующей фирмы, в которой отображены решения относительно вхождения на рынок потенциального конкурента и доминирующего экономического агента [6, с. 142–143]. Ученый задействует методологические подходы поиска равновесия Байеса, направленные на установление целесообразного поведения экономических агентов на современных рынках с асимметричными информационными потоками [6, с. 144–145]. На наш взгляд, моделирование логистики ресурсных потоков с учетом асимметричного характера информации позволяет надлежащим образом корректировать взаимодействие спроса и предложения, стимулирование сбыта в процессе распределения потоков ресурсов предприятий (в том числе и энергетических).

М. Васелевский, Р. Патора акцентируют внимание на важности исследования информационных систем производства, информационной поддержке отдельных элементов, входящих в систему автоматизации производства.

Kasian Serhii Ya. – Candidate of Sciences (Economics), Associate Professor, Deputy Dean of the Faculty of Economics, Dnipropetrovsk National University named after Oles Gonchar (13 Naukova Str., Dnipro, 49050, Ukraine)

E-mail: yskasyan@ua.fm

Они подчеркивают значимость автоматизации логистических процессов, связанных с поставкой сырья, материалов, энергии, технологического пространства, маркетингового распределения [7, с. 22–24].

Ю. Пачковский, А. Максименко исследуют потребление товаров и услуг в аспекте когнитивного пространства поведения человека, характеризуя такую модель поведения биологическими, психологическими и социологическими составляющими. Относительно экономического поведения субъектов рыночных процессов они выделяют материально-вещественные и социально-экономические аспекты такого поведения [8, с. 5–10]. Очевидно, с точки зрения парадигмы экономической системы Украины следует в ходе планирования, распределения и координирования ресурсных энергетических потоков высокотехнологических предприятий учитывать особенность поведения экономических агентов на рынках товаров и услуг. Отметим, что такое поведение в XXI веке характеризуется расширением альтернативы выбора, поставок и распределения ресурсных, товарных потоков в ходе организации логистики дистрибуции и логистического сервиса.

Нерешенные раньше части общей проблемы. В указанных работах недостаточно раскрыта количественная связь между производственными мощностями предприятия и текущими характеристиками потребительского рынка: потенциальный спрос на продукцию, темпы потребления продукции и т. д. Этот недостаток современной теории усложняет исследование влияния маркетинговой коммуникационной кампании на экономическую эффективность деятельности предприятия. В работе [4] предложена модель, которая с принципиальной точки зрения отвечает сформулированным требованиям, то есть позволяет учесть детальные характеристики рынка. Но, как отмечено в работе [5], эта модель имеет существенный недостаток: модель приводит к неустойчивым решениям в широком диапазоне экономических параметров. В работе [5] предложен метод его устранения – усреднение темпа продаж по некоторому временному интервалу. На сегодняшний день отсутствуют эффективные методики, позволяющие планировать в масштабе реального времени производственные мощности с учетом эффективной организации логистики дистрибуции на предприятии и рыночного спроса на продукцию.

Цель статьи – разработка экономико-математической модели производственной деятельности предприятия с учетом логистики и рыночного спроса; применение разработанной модели для согласования темпа производства товаров повседневного спроса с темпом их реализации.

Основные результаты исследования. Рассматривается предприятие, организация логистики которого соответствует схеме, показанной на рис. 1.

Схема, показанная на рис. 1, предусматривает два варианта логистики. Первый вариант: весь поток продукции

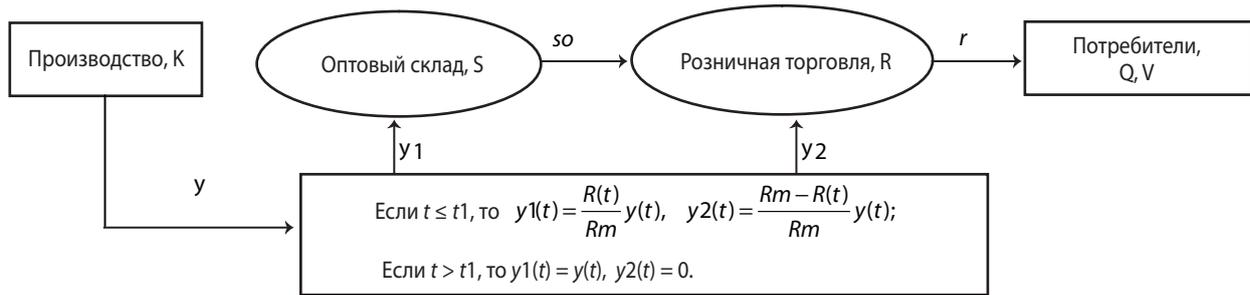


Рис. 1. Схема организации и координации логистики дистрибуции основных ресурсных потоков предприятия

из предприятия направляется сначала на оптовый склад, а уже из него – в магазины розничной торговли (МРТ) и потребителям начиная с первого периода ($t = 1$). На схеме этот вариант логистики соответствует выбору параметра ($t1 = 0,2$); 2) в течение первых $t1$ периодов весь поток продукции $y(t)$, производимой предприятием, делится на два потока: $y1(t)$ – на оптовый склад, $y2(t)$ – в МРТ, – в пропорции, показанной на рис. 1, тогда как в последующие периоды весь поток продукции из предприятия направляется сначала на оптовый склад, а уже из него – в МРТ.

Второй вариант логистики применяется в том случае, если в начальный момент времени запасы товара в МРТ и на оптовом складе являются нулевыми. Этот вариант реализуется, когда предприятие начинает новый проект или возобновляет производство после длительного перерыва в работе.

Работа в условиях конкурентного рынка требует от директора предприятия уделять внимание расширению рыночной ниши предприятия или хотя бы поддержанию ее на некотором приемлемом уровне. Одно из эффективных средств этого – проведение периодической или постоянной рекламной кампании. Поэтому построение модели начинаем с модельного описания влияния рекламной кампании на потенциальный спрос Q . Полный потенциальный спрос $Q(t) = Q_0 + Q_{ad}(t)$ состоит из двух вкладов: Q_0 – потенциальный спрос при отсутствии рекламной кампании, Q_{ad} – дополнительный потенциальный спрос, обусловленный проведением рекламной кампании. Считаем, что в каждом периоде t затраты предприятия на рекламу постоянны и равны Zr . При таких затратах достигается некоторое значение потенциального спроса $Qp(Zr)$. Влияние рекламной кампании на текущий потенциальный спрос $Q(t)$ будем описывать моделью запаздывания первого порядка [9]:

$$\frac{dQ(t)}{dt} = \frac{Qp(Zr) - Q(t)}{tr} \quad (1)$$

Потенциальный спрос Qp как функция затрат Zr достигает максимального значения – эта величина ни при каких затратах не может превышать некоторого значения $Qmax$:

$$Qp(Zr) = Qmax * (1 - \exp\{-\alpha * Zr\}), \quad (2)$$

где α – константа, зависящая от характера рынка и от качества рекламной кампании.

Если рассматривать спрос на продукцию предприятия ($b(t)$) как экзогенную переменную, то получим следующую зависимость темпа продаж товара (r) от разветвленно-

сти розничной сети ($R(t)$ – количество товара в розничной сети, которое пропорционально числу торговых точек):

$$\frac{r(t)}{r} = \frac{R(t)}{R} * b(t),$$

где $\langle r \rangle, \langle R \rangle$ – усредненные величины за предыдущий период работы (месяц, квартал, год), если предприятие продолжает выпуск данного вида продукции, или плановые значения на тот же период, если предприятие начинает новый проект. Последнее уравнение может быть записано в виде:

$$r(t) = q0 * R(t) * b(t).$$

Однако для более детального исследования влияния рыночной конъюнктуры на темп продаж это уравнение следует записать в форме явно учитывающей рыночные переменные (которые теперь уже будут эндогенными):

$$r(t) = n * R(t) * [Q(t) - V(t)], \quad (3)$$

где n – коэффициент скорости продажи товара; V – количество товара у потребителей (еще не потребленного).

Теперь запишем другие уравнения модели, соответствующие схеме на рис. 1:

$$\frac{dV}{dt} = r(t) - k1 * V(t), \quad (4)$$

$$\frac{dS}{dt} = \begin{cases} \frac{R(t)}{Rm} * y(t) - so(t), & \text{if } t \leq t1, \\ y(t) - so(t), & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (5)$$

$$so(t) = \min \left[r_i * \left(1 + \frac{Rm - R(t)}{Rm} \right), Rm - R(t), S(t) \right], \quad (6)$$

$$\frac{dR}{dt} = \begin{cases} so(t) - r(t) + \frac{Rm - R(t)}{Rm} * y(t), & \text{if } t \leq t1, \\ so(t) - r(t), & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (7)$$

$$M(t) = (1 - kp) * [(1 - kad) * p * r(t) - p * c * y(t) - L(t) - mu * K - k3 * R(t) - k2 * S(t) - Zr], \quad (8)$$

где y – темп производства товара (количество единиц товара, выпущенных в единицу времени);

S – количество товара на оптовом складе;

R – количество товара в сети розничной торговли;

Rm – максимальное количество товара, которое может вместить сеть розничной торговли;

M – прибыль;
 L – оплата персонала;
 Q – потенциальный спрос (полное количество товара, которое способно мгновенно удовлетворить спрос в условиях отсутствия ажиотажного спроса);
 p – цена товара;
 k_1 – темп потребления товара (относительный коэффициент потребления купленного товара в единицу времени);
 k_2 – плата за хранение единицы товара в единицу времени на оптовом складе;
 so – темп перевозок товара из оптового склада в сеть розничной торговли;
 kp – ставка налога на прибыль;
 kad – ставка налога на добавленную стоимость;
 c – часть себестоимости в цене продукции (без учета оплаты персонала);
 tu – коэффициент амортизации;
 K – стоимость основных производственных средств (ОПС);
 k_3 – плата за хранение единицы товара в единицу времени в сети розничной торговли.

Для описания процесса выхода производственных мощностей $y(t)$ на плановую мощность um используем уравнение запаздывания первого порядка:

$$\frac{dy(t)}{dt} = \frac{ym - y(t)}{ty}$$

где ty – запаздывание.

Чтобы избежать переполнения оптового склада, предприятие должно управлять текущим значением производственных мощностей, исходя из наличных запасов товара на оптовом складе $S(t)$. Выберем следующий закон управления производственными мощностями:

$$\frac{dy(t)}{dt} = \frac{ym - y(t)}{ty} \cdot \begin{cases} 1, & \text{if } S(t) < 0,75 \cdot Sm \\ \frac{0,75 \cdot Sm}{S(t)}, & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (9)$$

где Sm – максимальное количество товара, которое может вместить оптовый склад.

Уравнение (9) обеспечивает выход производственных мощностей $y(t)$ на плановую мощность um , и при этом всегда выполняется неравенство $S(t) \leq Sm$. Фактически при решении оптимизационных задач значение плановой мощности um будет рассматриваться как заданное, а Sm является вариационным параметром.

В работе [5] обосновывается необходимость при расчетах по модели (1)–(9) выполнять усреднение:

$$\bar{r}_i = \langle r \rangle_{i-ps}^i, \quad \bar{so}_i = \langle so \rangle_{i-ps}^i, \quad (10)$$

где ps – часовой интервал усреднения.

При расчетах по модели (1)–(9) усреднение (10) выполняется начиная со второго периода для $ps = 2$. Соотношения (10) также будем включать в систему уравнений модели.

Заметим, что расчеты выполнялись для конечно-разностной формы системы уравнений (1)–(10). В качестве периода дискретизации модели был принят один день.

Расчеты по модели (1)–(10) выполнялись при следующих значениях параметров:

$$\begin{aligned} p &= 10, \quad c = 0,63, \quad f = 0,032, \quad tu = 5,479 \cdot 10^{-4}, \quad q = 1, \\ k_1 &= 0,2, \quad Sm = 300, \quad so_0 = 0, \quad R_0 = 7, \quad Rm = 16, \quad y_0 = 0, \\ Q_0 &= 600, \quad kp = 0,06, \quad V_0 = 0, \quad V = 0,5, \quad kad = 0,2, \quad (11) \\ r_0 &= 0, \quad n = 8,7 \cdot 10^{-4}, \quad z = 0,1, \quad k_2 = 0,05, \quad s = 1,481, \\ S_0 &= 1, \quad Se = 25, \quad so_0 = 0, \quad k = 1,25 \cdot 10^3. \end{aligned}$$

Будем рассматривать задачу о приведении производственных мощностей предприятия, которое работает в соответствии с моделью (1)–(10), с текущим рыночным спросом в следующих двух постановках: А) темп производства превышает темп реализации продукции на рынке, но за счет рекламной кампании спрос на продукцию может быть увеличен, и темп реализации продукции станет равным темпу производства; В) если все возможности для увеличения темпа реализации уже исчерпаны, но он все-таки остается ниже темпа производства, то в этом случае приходится выполнять оптимальное ограничение темпа производства.

Прежде чем приступить к формальному решению задачи А) и В), убедимся в том, что модель (1)–(10) приводит к осмысленным результатам. При переходе от непрерывного времени к дискретному выполняем замену обозначений $M(t) \rightarrow M_i$ (для других величин тоже). Уравнение (2) при $Qmax = 600$ и $\alpha = 2$ приводит к зависимости максимального значения потенциального спроса Qp от затрат Zr на рекламную кампанию, которая показана на рис. 2.

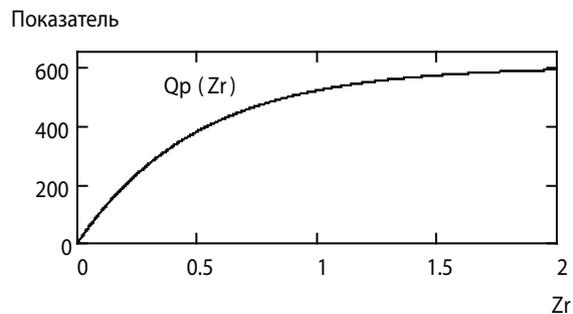


Рис. 2. Зависимость максимального значения потенциального спроса Qp от затрат Zr (грн / период) на рекламную кампанию

Из рис. 2 видно, что при выбранных нами значениях параметров (и в выбранных денежных единицах) затраты на рекламу, превосходящие 2 (ед.), не приводят к заметному росту потенциального спроса Qp , поэтому будем ограничиваться рассмотрением диапазона $0 \leq Zr \leq 2$.

Пусть максимальная производительность предприятия (9) $um = 4,6$. Зададимся некоторым значением расходов на рекламу – $Zr = 0,9$. Тогда $Qp(0,9) = 500,8$ (рис. 2) и в соответствии с (1) для $tr = 4$ получим зависимость, показанную на рис. 3.

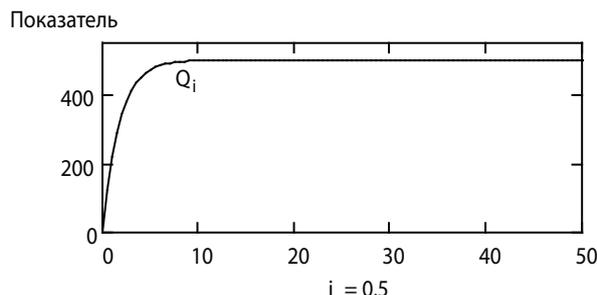


Рис. 3. Текущее значение потенциального спроса

Далее для горизонта планирования $T = im = 365$, используя остальные уравнения модели для значений параметров (11), будут получены результаты, показанные на рис. 4 и рис. 5.

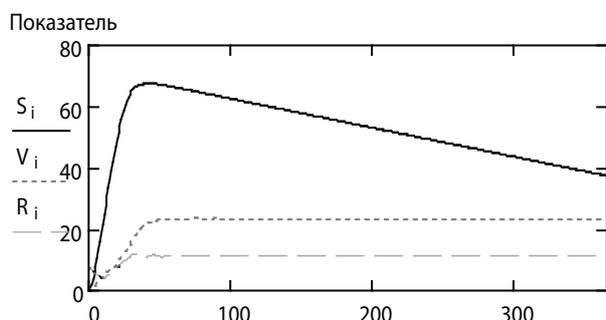


Рис. 4. Текущие количества товара на оптовом складе S_i , в сети розничной торговли R_i и товара на руках у потребителя V_i

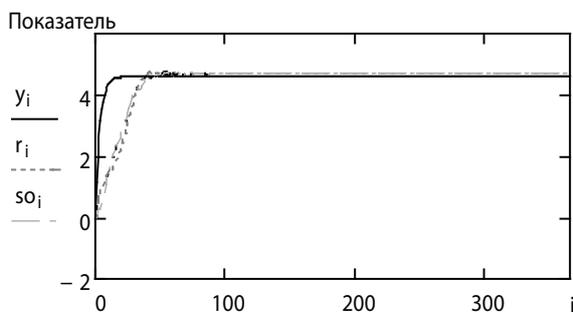


Рис. 5. Текущие значения темпов производства y_i , продажи r_i и темпа перевозок из оптового склада в розничную торговлю so_i

Отставание темпа продажи и темпа перевозок от темпа производства в течение первых 20 периодов (дней) связано с тем, что, как видно из рис. 4, в эти периоды товар в основном поступает на оптовый склад, а не в розничную продажу. Хотя в последующие периоды, как видно из рис. 5, темпы продажи и перевозок несколько превосходят темпы производства. Из рис. 4 видно, что это превосходство достигается за счет уменьшения запасов на оптовом складе. При этом соблюдается баланс товара: произведенный товар – реализованный товар = изменение количества товара на всех уровнях:

$$\sum_{i=0}^{im-1} (y_i - r_i) = 7,666, \quad (S - R)_{im} - (S - R)_0 = 7,666.$$

Задача А) фактически сводится к оптимизации рекламной кампании при заданном темпе производства. В качестве целевой функции задачи оптимизации берем прибыль, полученную за выбранный промежуток времени T (горизонт планирования):

$$F_T(Zr) = \sum_{i=1}^T M_i \rightarrow \max. \quad (12)$$

Системой ограничений для оптимизационной задачи (12) является система уравнений модели (1)–(10). Понятно, что оптимизационная задача (12) при ограничениях (1)–(10) должна решаться численными методами. Учитывая соотношение (8), видим, что выражение (12) для целевой функции может быть разделено на две части:

$$F_T(Zr) = G(Zr) - (1 - kp) \cdot T \cdot Zr, \quad (13)$$

Где $G(Zr)$ в силу соотношения (2) имеет аналогичную (2) зависимость от Zr , т. е. $G(Zr)$ – это функция, выпуклая вверх. Приходим к выводу, что, для того чтобы функция $F_T(Zr)$ имела максимум при $Zr > 0$, должно выполняться условие $\left(\frac{d(Zr)}{dZr}\right)_{Zr=0} > (1 - kp)T$. Если же выполняется условие

$$\left(\frac{d(Zr)}{dZr}\right)_{Zr=0} \leq (1 - kp)T, \text{ то функция } F_T(Zr) \text{ имеет максимум}$$

при $Zr = 0$. Для $T = 365$ при значениях параметров, указанных в (11), можно проверить численными расчетами, что выполняется неравенство

$$\left(\frac{d(Zr)}{dZr}\right)_{Zr=0} > (1 - kp)T \cdot (2,6 \cdot 10^5 > 686,2).$$

Таким образом, функция $F_T(Zr)$ имеет максимум при ненулевом значении Zr . В табл. 1 приведен фрагмент численного решения оптимизационной задачи для параметров, указанных в (11); при этом рассматривалось значение $um = 4,6$.

Таблица 1

Фрагмент численного решения оптимизационной задачи для параметров, указанных в (11)

Zr	Q100	$F_T(Zr)$	$(S - R)_{im} - (S - R)_0$
1,23	548,7	1104	6,637
1,24	549,8	1105	6,638
1,25	550,7	1105	6,619
1,26	551,7	1104	6,6

Поскольку функция $F_T(Zr)$ имеет единственный максимум, то из табл. 1 видно, что решением оптимизационной задачи (12) является значение $(Zr)_{max} = 1,245$, при этом целевая функция достигает максимального значения $[F_T(Zr)]_{max} = 1105$. Для таких затрат на рекламу, как видно из табл. 1, потенциальный спрос будет находиться в пределах [549,8; 550,7].

На рис. 6 и рис. 7 показана динамика экономических характеристик для оптимального решения.

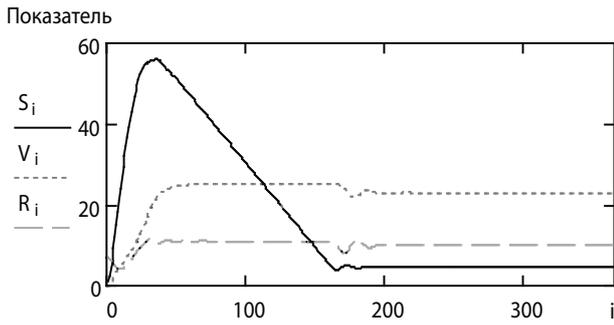


Рис. 6. То же, что и на рис. 4, но для оптимального решения

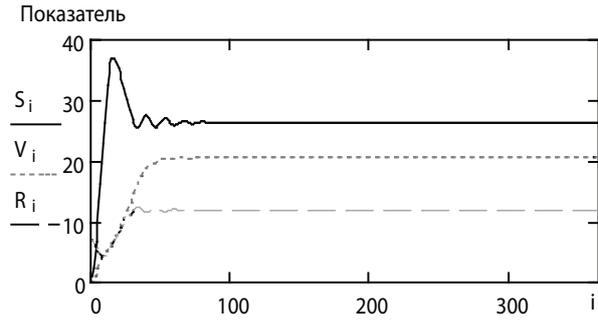


Рис. 8. То же, что и на рис. 4, но для максимальной производительности предприятия $ym = 5,0$

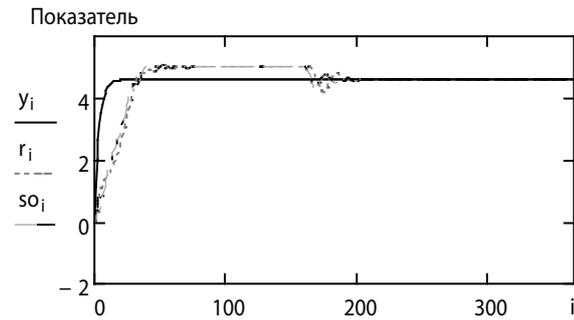


Рис. 7. То же, что и на рис. 5, но для оптимального решения

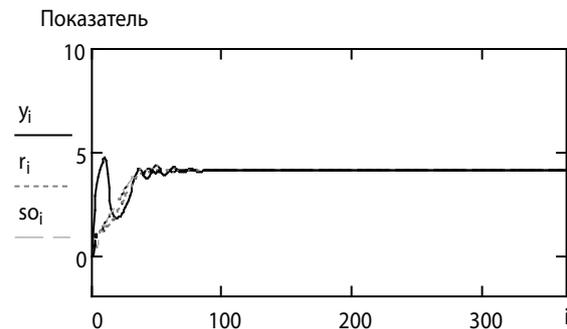


Рис. 9. То же, что и на рис. 5, но для максимальной производительности предприятия $ym = 5,0$

Перейдем к задаче В). Пусть теперь максимальная производительность предприятия $ym = 5,0$ (при неизменных других параметрах). Если для увеличения спроса все возможности исчерпаны и все-таки темп продаж остается меньше, чем темп производства, то остается только оптимальное снижение темпа производства. Для этого используется критерий непереполнения наличных оптовых складских помещений. В этом случае в системе уравнений (1)–(10), кроме зависимости уровня товара на оптовом складе $S(t)$ от темпа производства $y(t)$, которая определяется уравнением (5) (прямая связь), необходимо также учесть и обратную связь, учитывающую зависимость темпа производства $y(t)$ от уровня товара на оптовом складе $S(t)$. Именно эта обратная связь и позволит осуществить подстраивание производственной мощности под рыночный спрос на продукцию. Для учета обратной связи нужно выполнить модификацию уравнения (9). Одна из возможных форм такой модификации следующая:

$$\frac{dy(t)}{dt} = \frac{ym - y(t)}{ty} \cdot \begin{cases} 1, & \text{if } S(t) < Se \\ \frac{Se}{S(t)}, & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (14)$$

где Se – допустимый (близкий к максимальному) уровень продукции на оптовом складе.

Уравнение (14) «автоматически» обеспечивает условие «непереполнения наличных оптовых складских помещений». Теперь расчет по модели (1)–(10) (с учетом замены уравнения (9) на (14)) приводит к результатам, показанным на рис. 8 и рис. 9.

Расчеты показывают, что начиная с 80 периода темп производства испытывает незначительные колебания относительно значения $y = 4,1$ ($4,07 < y < 4,13$). При этом будет получена прибыль 278,5 (табл. 2).

Таблица 2

Темпы производства и прибыль

ym	ΣM	y_{cp} , начиная с 80 периода
5,0	278,482	4,08
4,0	655,9	3,892
3,95	665,989	3,846
3,93	665,105	3,93
3,9	661,059	3,9
3,85	649,892	3,754
3,8	635,532	3,708

Средний темп производства в этом случае устанавливается на уровне (начиная с 80 периода) 4,08. Это означает, что $0,92$ ($0 - 4,08 = 0,92$) ($5 - 4,08 = 0,92$) единицы мощности предприятия избыточны и могут быть задействованы в производстве других видов продукции. Из табл. 2 видно, что оптимальная производственная мощность находится в пределах $3,93 < y_{opt} < 3,95$. При выборе производственной мощности в этих пределах суммарная прибыль за рассматриваемый период ($T = 365$) составит 665,1.

Выводы. Экономико-математическое моделирование логистического координирования производства по-

зволяет установить определенное влияние и взаимосвязь товарных потоков с рыночным спросом. Данную модель целесообразно применять в целях комплексного согласования темпа производства товара повседневного спроса с динамикой потоков реализации товаров и услуг, что содействует дополнительному расширению клиентской базы предприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бульбах О. А. Решение координационной задачи управления товарно-материальными запасами на предприятии / О. А. Бульбах // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 2/10 (56). – С. 18–20.
2. Кравченко В. Н. Модели процессов управления запасами готовой продукции на предприятии / В. Н. Кравченко // Экономика і організація управління. – 2010. – № 1 (7). – С. 10–21.
3. Лысенко А. И. Управление запасами производственно-сбытовой системы в условиях неопределенности спроса / А. И. Лысенко, Е. И. Шостак, А. Б. Сариева // Системы обработки информации. – 2013. – № 4 (111). – С. 149–151.
4. Горский А. А. Динамическая модель процесса производства, хранения и сбыта товара повседневного спроса / А. А. Горский, И. Г. Колпакова, Б. Я. Локшин // Известия РАН. Теория и системы управления. – 1998. – № 1. – С. 144–148.
5. Шерстенников Ю. В. Моделирование развития малого предприятия в условиях конкурентного рынка / Ю. В. Шерстенников // Бизнес Информ. – 2013. – № 7. – С. 129–135.
6. Герасименко А. Г. Маніпуляція ринковою інформацією як елемент стратегії домінування / А. Г. Герасименко // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення і проблеми розвитку. – 2013. – № 778. – С. 142–146.
7. Васелевський М. Інформація та кадри в логістичних системах / М. Васелевський, Р. Патора. – Львів : Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2001. – 272 с.
8. Пачковський Ю. Ф. Споживча поведінка українських домогосподарств : монографія / Ю. Ф. Пачковський, А. О. Максименко. – Львів : ЛНУ ім. Івана Франка, 2014. – 292 с.
9. Шерстенников Ю. В. Моделирование дуополии с учетом логистики, ограниченного выпуска и рекламы предприятия / Ю. В. Шерстенников // Бизнес Информ. – 2013. – № 10. – С. 135–141.

REFERENCES

- Bulbakh, O. A. "Resheniye koordinatsionnoy zadachi upravleniya tovarno-materialnymi zapasami na predpriyatii" [The decision of the coordination tasks of managing the inventory in the enterprise]. *Vostochno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy*, no. 2/10 (56) (2012): 18-20.
- Gorskiy, A. A., Kolpakova, I. G., and Lokshin, B. Ya. "Dinamicheskaya model protsessa proizvodstva, khraneniya i sbyta tovara povsednevnogo sprosa" [The dynamic model of the process of production, storage and distribution of the goods of daily demand]. *Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy upravleniya*, no. 1 (1998): 144-148.
- Herasymenko, A. H. "Manipuliatsiia rynkovoii informatsiieiu yak element stratehii dominuvannia" [Manipulation of market information as part of the strategy of domination]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika». Seriia: Menedzhment ta pidpriemnytstvo v Ukraini: etapy stanovlennia i problemy rozvytku*, no. 778 (2013): 142-146.
- Kravchenko, V. N. "Modeli protsessov upravleniya zapasami gotovoy produktsii na predpriyatii" [Models of management of stocks of finished products in the enterprise]. *Ekonomika i orhantsiia upravlinnia*, no. 1 (7) (2010): 10-21.
- Lysenko, A. I., Shostak, E. I., and Sariyeva, A. B. "Upravleniye zapasami proizvodstvenno-sbytovoy systemy v usloviyakh neopredelennosti sprosa" [Inventory management supply chain under uncertainty demand]. *Sistemy obrobky informatsii*, no. 4 (111) (2013): 149-151.
- Pachkovskiy, Yu. F., and Maksymenko, A. O. *Spozhyvcha povedinka ukrainskykh domohospodarstv* [Consumer behavior of Ukrainian households]. Lviv: LNU im. Ivana Franka, 2014.
- Sherstennykov, Yu. V. "Modeliuvannia rozvytku maloho pidpriemstva v umovakh konkurentnoho rynku" [Modelling development of a small enterprise in a competitive market]. *Biznes Inform*, no. 7 (2013): 129-135.
- Sherstennykov, Yu. V. "Modeliuvannia duopolii z urakhuvanniam lohistyky, obmezhenoho vypusku i reklamy pidpriemstva" [Modelling duopoly with consideration of logistics, limited production and advertising business]. *Biznes Inform*, no. 10 (2013): 135-141.
- Vaselevskiy, M., and Patora, R. *Informatsiia ta kadry v lohistychnykh systemakh* [Information and personnel in logistics systems]. Lviv: Vyd-vo NU «Lvivska politekhnika», 2001.