

УДК 333.07

UDC 333.07

КОМПЛЕКС МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ХЛЕБОПРОДУКТОВОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЦЕПИ¹

COMPLEX OF MATHEMATICAL MODELS OF BREAD PRODUCTS TECHNOLOGICAL CHAIN

Барановская Татьяна Петровна
д.э.н., профессор

Baranovskaya Tatiana Petrovna
Dr.Sci.Econ., professor

Лойко Валерий Иванович
заслуженный деятель науки РФ,
д.т.н., профессор

Loyko Valery Ivanovich
honored worker of science of the Russian Federation,
Dr.Sci.Tech., professor

Макаревич Олег Александрович
к.э.н., доцент

Makarevich Oleg Alexandrovich
Cand.Econ.Sci., associate professor

Богославский Станислав Николаевич
соискатель
Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия

Bogoslavsky Stanislav Nikolaevich
postgraduate student
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

В статье кратко описаны предложенные авторами математические модели интегрированной производственной системы по переработке зерна пшеницы, объединенные в два блока - блок детерминированных моделей и блок стохастических и нечетких моделей

This article briefly describes the proposed by the authors mathematical models of the integrated production system for the processing of wheat grain, united in two blocks – the block of deterministic models and the block of stochastic and fuzzy models

Ключевые слова: ЭФФЕКТИВНОСТЬ, ПЕРЕРАБОТКА ЗЕРНА, ИНТЕГРАЦИЯ, СТРУКТУРА, ПОТОКОВАЯ СХЕМА, КОМПЛЕКС МОДЕЛЕЙ

Keywords: EFFICIENCY, GRAIN PROCESSING, INTEGRATION, STRUCTURE, STREAMING SCHEME, SET OF MODELS

Производство и переработка зерна образуют в народнохозяйственной системе страны ряд крупных секторов, таких как зерновое производство, элеваторная отрасль, мукомольное, крупяное, комбикормовое производство, которые составляют зерновой комплекс страны. Зерно и хлеб являются стратегическими продуктами, от эффективности производства и переработки которых зависит продовольственная безопасность страны. Годовой объем мирового производства зерна превышает 1,5 млрд. тонн и ежегодно увеличивается примерно на 1 %. Россия в среднем производит 80 млн. тонн зерна, т.е. около 5% мирового сбора, при том, что на ее долю приходится 10% посевных площадей.

В последние десятилетия стали широко внедряться технологически вертикально интегрированные производственные системы, в том числе в

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РГНФ (проект № 12-02-00055а)

зерноперерабатывающем производстве, как более эффективные по сравнению с системами с горизонтальной интеграцией. Однако вопросы детального моделирования технологически интегрированных зерноперерабатывающих производственных систем по-прежнему остаются открытыми. Данные обстоятельства обусловили актуальность углубленных исследований экономико-математических моделей анализа и оценки экономической эффективности технологически интегрированных зерноперерабатывающих производственных систем.

Разработанный комплекс математических моделей для оценки экономической эффективности и расчета параметров технологически полной хлебопродуктовой цепи приведен на рисунке 1. Он содержит два блока:

- 1) блок детерминированных моделей, в который входят: модели процессов преобразования в блоках технологически полной цепи, модель экономической эффективности технологически интегрированных производственных систем, модель минимальной цены хлеба, модели сравнительной оценки экономической эффективности интегрированной и дезинтегрированной производственных систем, модели управления запасами;
- 2) блок стохастических и нечетких моделей, включающий в себя: модель оптимального объема страхового запаса, нечеткую модель исходного материального потока, нечеткую модель исходного материального потока с учетом риска и нечеткую модель экономической эффективности технологически интегрированной производственной системы с учетом риска.



4

Рисунок 1. Комплекс математических моделей для оценки экономической эффективности и расчета параметров технологически полной хлебопродуктовой цепи

Полный технологический цикл производства хлебопекарных изделий можно обеспечить, если объединить агропредприятие зернового направления, зернохранилище, мукомольный завод, хлебозавод и сеть реализации. Объединение может быть реализовано на различных принципах, но главным должно быть то, что создается технологически полная замкнутая цепь производства (рис. 2).

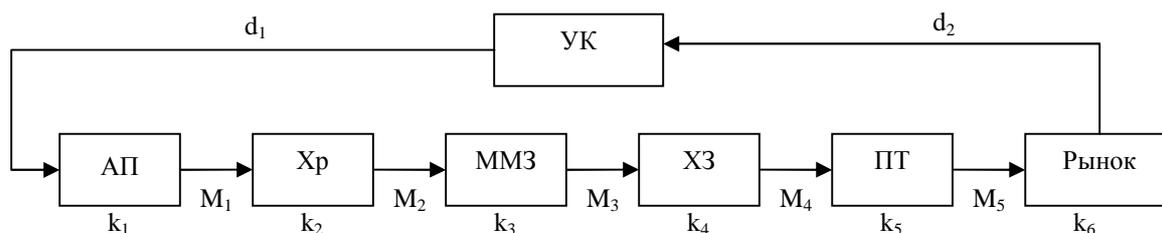


Рисунок 2. Поточковая схема предприятия по производству, переработке и реализации продукции из зерна пшеницы (хлеба) с полным технологическим циклом

Эта схема полностью охватывает технологический процесс производства и минимизирует материально-денежные потоки.

Из рис. 2 видно, что однонаправленные материальные потоки ($M_1 - M_5$) действуют между агропроизводством (АП) и предприятиями торговли (ПТ), не затрагивая управляющую компанию (УК).

В системе действуют два денежных потока: d_1 от УК к АП и d_2 от ПТ к УК после реализации. Такая организация денежных потоков снимает их влияние на внутренний цикл производства.

Эффективность \mathcal{E} хлебопродуктового производственного объединения с технологически полной интеграцией, определим как отношение чистого дохода D к суммарным расходам P :

$$\mathcal{E} = \frac{D}{P} = \frac{m(1+k)^n}{1+r} - 1, \quad (1)$$

где ρ – это доля от d_1 дополнительных расходов на организацию производственного процесса в одном цикле;

m – число циклов в исследуемый период;

k – коэффициент прибыли (норму прибыли);

n – число этапов (ступеней) технологической цепочки.

Из (1) видно, что эффективность объединения нелинейно зависит от трех аргументов (факторов).

Нормы прибыли могут быть различными во всех предприятиях объединения. Тогда формула (1) преобразуется к виду:

$$\mathcal{E} = \frac{m \prod_{i=1}^n (1 + k_i)}{1 + p} - 1, \quad (2)$$

где i – номер предприятия в технологической цепочке;

m – количество циклов в год, начиная с элеватора.

Для полного технологического цикла $n = 5$.

Формулы (1) и (2) достаточно хорошо объясняют синергический эффект, но не включают такие экономические показатели как цена, затраты, технологические нормы и т.п. Для исключения этих недостатков были конкретизированы математические модели процессов преобразования в блоках потоковой схемы (см. рис. 2).

Путь потока $d_1 \rightarrow d_2$ можно описать следующим образом. Материальный поток M_1 (зерно) возникает в результате преобразования в блоке «агропроизводство». Поток d_1 компенсирует затраты на производство $M_1 = k_1 d_1$, где k_1 можно рассмотреть как коэффициент преобразования денежного потока d_1 в блоке «АП» в материальный поток M_1 , т.е. в зерно. Если обозначить через C_a денежный эквивалент затрат на производство весовой единицы зерна, то объем производства зерна M_1 при заданном денежном потоке d_1 может быть записан как

$$M_1 = \frac{d_1}{C_a}$$

то есть

$$k_1 = \frac{1}{C_a}$$

Зерновой поток M_1 поступает на вход блока «Хр», а на выходе действует поток зерна претерпевший некоторые преобразования M_2 . Следовательно:

$$M_2 = k_2 M_1$$

Например, при $m_T = 2$, $k_T = 0,5$

При хранении зерна происходят нормативные химико-климатические преобразования, в результате которых вес зерна меняется. Это и отображается коэффициентом k_2 . Очевидно, коэффициент k_2 является величиной обратной технологической норме преобразования зерна в результате хранения. Обозначим эту норму как m_{Txp} , а

$$\frac{1}{m_{Txp}} = k_{Txp},$$

тогда

$$M_2 = k_{Txp} M_1, \quad (3)$$

то есть

$$k_2 = k_{Txp}.$$

Зерно в объеме M_2 поступает в блок «ММЗ» (мукомольный завод), где преобразуется в муку с объемом $M_3 = k_3 M_2$. Аналогичным образом была проведена конкретизация всех коэффициентов преобразования в блоках технологической цепи.

Поток M_5 реализуется на рынке, т.е. преобразуется в денежный поток выручки d_2 :

$$d_2 = k_6 M_5$$

Очевидно, что коэффициент преобразования k_6 есть не что иное как рыночная цена реализации единицы потока хлебобулочных изделий M_5 . Если обозначить цену реализации хлеба через P_x , то для потока выручки можно написать

$$d_2 = P_x M_5 \quad (4)$$

то есть

$$k_6 = P_x$$

Используя введенные экономические и технологические показатели, получим для d_2 :

$$d_2 = m \cdot k_{Txp} \cdot k_{Tzm} \cdot k_{Tmx} \cdot k_{Tnm} \frac{P_x}{C_a} d_1 \quad (5)$$

Из (5) видно, что выручка прямо пропорциональна количеству циклов за период, производству технологических коэффициентов преобразования и цене реализации, и обратно пропорциональна затратам на производство зерна.

Модель для решения задачи определения исходного объема финансового потока полной хлебопродуктовой производственной цепи по заданному рыночному спросу на хлебобулочную продукцию

Для решения обратной задачи (т.е. определения объема финансового потока d_1) по заданному рыночному годовому спросу на хлеб (объем M_4), можно записать для объема потока d_1 :

$$M_4 = k_{Txz} \cdot M_4 = k_{Txz} k_{Tmmz} \cdot M_3$$

$$M_4 = k_{Txz} \cdot k_{Tmmz} \cdot k_{Txp} \cdot \frac{1}{C_a} d_1$$

$$d_1 = \frac{M_4 \cdot C_a}{k_{Txp} \cdot k_{Tmmz} \cdot k_{Txz}}$$

Модели процессов преобразования в блоках технологически полной цепи

В выражениях (1) и (2) основные затраты определялись денежным потоком d_1 , а дополнительные в общем виде, как доля от основных. Они были обозначены греческой буквой ρ . С точки зрения производства, дополнительные затраты – это затраты на процесс преобразования одного вида ма-

териального потока в другой. Поэтому на схеме (см. рис. 3) денежный поток d_1 разделен на d_{11} и d_{12} , где d_{11} – это основной денежный поток, а d_{12} – дополнительный (затраты на процессы преобразования).

Поток d_{11} компенсирует затраты на производство зерна и создает исходный материальный поток M_1 (зерно). Денежный поток d_{12} компенсирует затраты на процессы преобразования в каждом блоке.

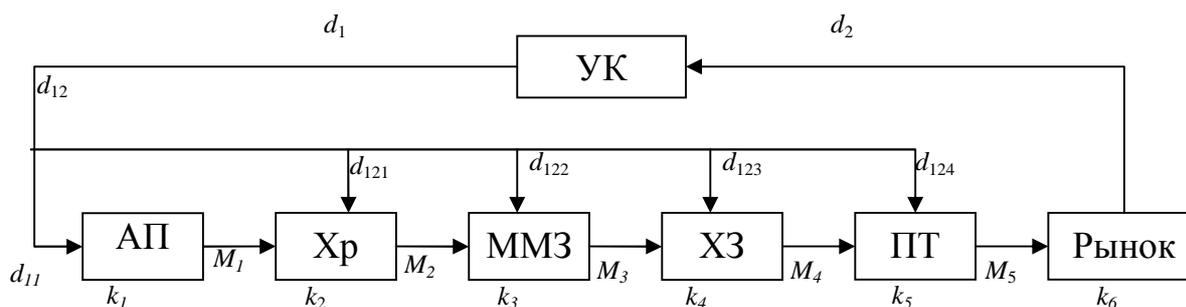


Рисунок 3. Поточковая схема полной хлебопродуктовой технологической цепи с учетом затрат на преобразование материальных потоков

Материальные потоки от M_2 до M_5 являются следствием возникновения исходного материального потока M_1 (зерна) в агропроизводстве («АП»), на создание которого затрачены средства в размере материального потока d_{11} .

Поэтому в формуле (5) для d_2 заменим d_1 на d_{11} .

$$d_2 = m \cdot k_{Тхр} \cdot k_{Тзм} \cdot k_{Тмх} \cdot k_{Тнм} \frac{P_x}{C_a} d_{11}$$

Математическое выражение для затрат на процессы последовательного преобразования зерна в готовый к реализации товар запишем тоже в функции d_{11} .

Общие затраты на преобразование материальных потоков в технологической цепи производства хлеба определяются как сумма четырех составляющих:

$$d_{12} = d_{121} + d_{122} + d_{123} + d_{124} .$$

Или подставив выражения через d_{11} для членов суммы, получим:

$$d_{12} = \frac{d_{11}}{C_a} (k_{Txp} C_{xp} + k_{Txp} k_{T3m} C_{3m} + k_{Txp} k_{T3m} k_{Tmx} C_{mx} + k_{Txp} k_{T3m} k_{Tmx} k_{Tnm} C_{nm}). \quad (6)$$

Как уже отмечалось, входной денежный поток d_1 имеет две составляющие:

$$d_1 = d_{11} + d_{12}.$$

Подставим сюда выражение для $d_{12} = \rho d_{11}$.

Тогда

$$d_1 = d_{11} (1 + \rho), \quad (7)$$

где, с учетом (6):

$$r = \frac{1}{C_a} (k_{Txp} C_{xp} + k_{Txp} k_{T3m} C_{3m} + k_{Txp} k_{T3m} k_{Tmx} C_{mx} + k_{Txp} k_{T3m} k_{Tmx} k_{Tnm} C_{nm}). \quad (8)$$

Слагаемые в (8) назовем нормативными удельными затратами на преобразование, то есть соответственно на хранение, на преобразование на мукомольном заводе, на преобразование на хлебозаводе, на преобразование в предприятиях торговли.

Тогда для ρ можно написать:

$$r = \frac{C_{Xpn} + C_{3Mn} + C_{MXn} + C_{ITn}}{C_a}. \quad (9)$$

Модель эффективности полной хлебопродуктовой технологической цепи с учетом затрат на преобразование материальных потоков

Зная выражение (5) для выручки d_2 и выражение (7) для входящего денежного потока d_1 , можем написать формулу для эффективности \mathcal{E} производственной цепи (см. рис. 3), как отношение d_2 к d_1 минус единица.

$$\mathcal{E} = \frac{md_2}{d_1} - 1 = \frac{md_2}{d_{11}(1+r)} - 1 = \frac{mP_x}{C_a} \cdot \frac{k_{Txp} k_{T3m} k_{Tmx} k_{Tnm}}{1+r} - 1. \quad (10)$$

Для упрощения полученного соотношения обозначим:

$$k_{To} = k_{Txp} k_{Tzm} k_{Tmx} k_{Tnm}; \quad (11)$$

$$C_{\Sigma n} = C_{Xpn} + C_{3Mn} + C_{MXn} + C_{ITn} \quad (12)$$

В этом случае можно свернуть выражение (9) для ρ :

$$\rho = \frac{C_{\Sigma n}}{C_a}.$$

Таким образом, для экономической эффективности получена математическая модель:

$$\mathcal{E} = \frac{mk_{To}P_x}{C_a + C_{\Sigma n}} - 1, \quad (13)$$

где \mathcal{E} – эффективность, зависящая от коэффициентов технологических преобразований;

m – число циклов в исследуемый период;

k_{To} – общий технологический коэффициент преобразования материальных потоков;

P_x – цена реализации хлеба (руб.);

C_a – затраты на производство единицы сельскохозяйственной продукции (руб.);

$C_{\Sigma n}$ – суммарные нормативные удельные затраты производства (руб.).

При безубыточном производстве эффективность должна быть $\mathcal{E} \geq 0$.

Модель минимизации цены на хлеб

Если работать при минимальной безубыточной эффективности, то есть при $\mathcal{E} = 0$, тогда цена хлеба будет минимальной:

$$P_{x \min} = \frac{C_a + C_{\Sigma H}}{mk_{T_0}} \quad (14)$$

Из (14) видно, что минимальная цена на хлеб прямо пропорциональна затратам на агропроизводство и нелинейно зависит от коэффициентов технологических преобразований.

Модели сравнительной оценки экономической эффективности интегрированной и дезинтегрированной производственных систем

Для того, чтобы количественно определить эффективность интегрированной системы по сравнению с дезинтегрированной, был проведен сравнительный анализ, результаты которого показали, что экономическая эффективность интегрированной системы больше, чем дезинтегрированной, на величину $\Delta \mathcal{E}$:

$$\Delta \mathcal{E} = \frac{C_a \left(\sum_{i=1}^5 (1+k)^i - 5 \right)}{C_a + C_{\Sigma H}}$$

Если воспользоваться полученным соотношением для расчета цены на хлеб, то в дезинтегрированной системе цена хлеба будет выше, как минимум, на величину ΔP_x :

$$\Delta P_x = \frac{C_a \left(\sum_{i=1}^5 (1+k)^i - 5 \right)}{mk_{T_0}} \quad (15)$$

Детерминированные модели управления запасами

Объем исходного материального потока M_{2o} :

$$q^* = M_{2o} = \sqrt{\frac{2pSa}{h(p-a)}}$$

Чтобы полностью удовлетворить годовой спрос при оптимальном объеме исходного материального потока в одном цикле M_{2o} необходимо

осуществить число циклов m_o , равное:

$$m_o = \sqrt{\frac{pah}{2(p-a)S}}$$

Оптимальные длительность поставки t_{no} и пиковый объем поставляемого сырья Q_{mo} будут определяться по формулам:

$$t_{no} = \sqrt{\frac{2Sa}{hp(p-a)}};$$

$$Q_{mo} = \sqrt{\frac{2Sa(p-a)}{hp}},$$

где a - интенсивность спроса
 p - скорость поставки
 S - организационные издержки
 h - издержки содержания запасов

Стохастическая модель «точки заказа»

Введем коэффициент издержек g , обусловленный величиной вероятности отказа в обслуживании заявки R_{om} , и определим вероятность отказа и связанные с этим издержки для исходной модели Харриса. Издержки, обусловленные отказом, определяются выражением

$$I_{om} = g \left[1 - \sum_{j=0}^{Q_m-1} \frac{(Q_m)^j}{j!} \exp(-Q_m) \right]. \quad (16)$$

Издержки отказа I_{om} возможно уменьшить за счет упреждающей поставки очередной партии на интервал времени Δt :

$$I_{om} = g \left[1 - \sum_{j=0}^{Q_m-1} \frac{(Q_m - a\Delta t)^j}{j!} \exp(-(Q_m - a\Delta t)) \right]. \quad (17)$$

Однако, как это видно на рисунке 6, такой сдвиг поставок эквивалентен увеличению срока хранения до величины $(1 + \Delta t)$ [год], что определит

увеличенные издержки хранения, как $I_x = h \frac{Q_m}{2} (1 + \Delta t)$ и общие издержки, как $I = I_x + I_{om}$.

Тогда при оптимальном интервале Δt_{on} упреждающей поставки получим минимальные общие издержки

$$\min(I) = g \left[1 - \sum_{j=0}^{Q_m-1} \frac{(Q_m - a\Delta t_{on})^j}{j!} \exp(- (Q_m - a\Delta t_{on})) \right] + h \frac{Q_m}{2} (1 + \Delta t_{on})$$

а оптимальная точка заказа (оптимальный объем страхового запаса) Q_{T3on} определится как:

$$Q_{T3on} = a\Delta t_{on}$$

Нечеткие модели

В потоковых моделях поток M_1 является основным и запускающим всю технологическую цепь (рис. 2). На основании этого было построено треугольное нечеткое число для прогнозируемой величины потока M_1 и треугольное нечеткое число объема потока M_1 с учетом риска: $\underline{M}_1 = (M_{1Risk}; M_1; M_{1max})$.

Таким образом, были учтены реальные условия получения потока M_1 .

Воспользовавшись условными обозначениями формулы (3), получили треугольные нечеткие числа для эффективности

$$\underline{\mathcal{E}} = (\mathcal{E}_{min}, \mathcal{E}, \mathcal{E}_{max})$$

и цены хлеба

$$\underline{P}_x = (P_{xmin}, P_x, P_{xmax})$$

При заданном фиксированном уровне α доверительные интервалы треугольных нечетких чисел $\underline{\mathcal{E}}$ и \underline{P}_x : $[\mathcal{E}_L; \mathcal{E}_R]$ и $[P_{xL}; P_{xR}]$, соответственно. Тогда интервальная модель эффективности имеет вид:

$$[\mathfrak{E}_L; \mathfrak{E}_R] = \frac{mk_{TO} [P_{xL}; P_{xR}]}{C_a + C_{\Sigma n}} - 1 = \left[\frac{mk_{TO} P_{xL}}{C_a + C_{\Sigma n}}; \frac{mk_{TO} P_{xR}}{C_a + C_{\Sigma n}} \right] - 1 = \left[\frac{mk_{TO} P_{xL}}{C_a + C_{\Sigma n}} - 1; \frac{mk_{TO} P_{xR}}{C_a + C_{\Sigma n}} - 1 \right]$$

Имея интервальную модель, можно построить треугольное нечеткое число экономической эффективности \mathfrak{E} (см. рис. 8), в котором треугольник DBC характеризует треугольное нечеткое число \mathfrak{E} с учетом риска.

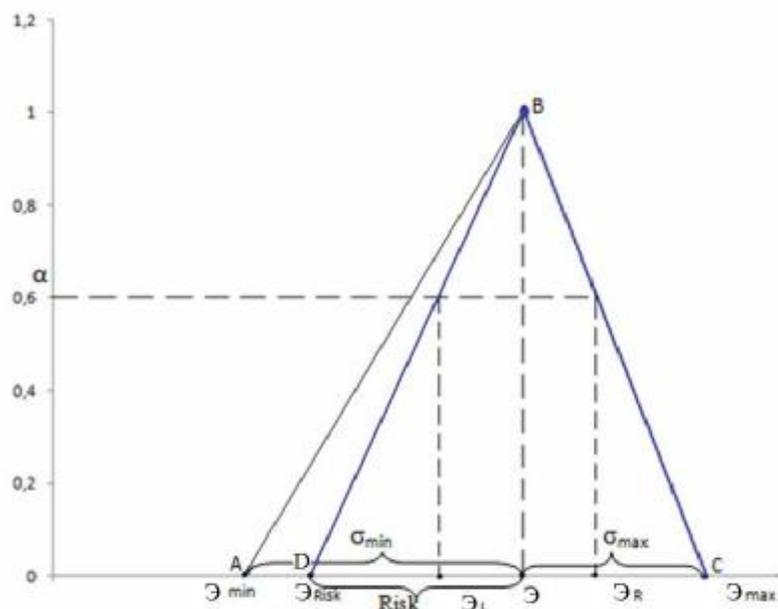


Рисунок 4. Треугольное нечеткое число экономической эффективности с учетом риска

Таким образом, получена модель эффективности, учитывающая рисковую составляющую, указывая тем самым на некоторую неопределенность значений экономического параметра (экономической эффективности), что более соответствует реальным условиям функционирования экономических систем.

Выводы

Разработан комплекс математических моделей для оценки эффективности и расчета параметров технологически полной хлебопродуктовой цепи, включающий в себя следующие модели:

§ модель для решения задачи определения исходного объема фи-

нансового потока полной хлебопродуктовой производственной цепи по заданному рыночному спросу на хлебобулочную продукцию

§ модели процессов преобразования в блоках технологически полной цепи

§ модель эффективности полной хлебопродуктовой технологической цепи с учетом затрат на преобразование материальных потоков

§ модель минимизации цены на хлеб

§ модели сравнительной оценки экономической эффективности интегрированной и дезинтегрированной производственных систем

§ детерминированные модели управления запасами

§ стохастическую модель «точки заказа»

§ нечеткие модели эффективности и цены на хлеб

Литература

1. Барановская Т. П., Лойко В. И., Трубилин А. И. Поточковые и инвестиционно-ресурсные модели управления агропромышленным комплексом: монография. – Краснодар: КубГАУ, 2006. – 352 с.
2. Барановская Т.П. Поточковые модели эффективности интегрированных производственных структур / Т.П. Барановская, В.И. Лойко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2006. – №07(23). С. 183 – 194. – Шифр Информрегистра: 0420600012\0169. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2006/07/pdf/22.pdf>, 0,75 у.п.л.
3. Лойко В.И. Модели организации хлебопродуктовой интегрированной производственной цепи / В.И. Лойко, И.М. Напсо // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2006. – №04(20). С. 77 – 102. – Шифр Информрегистра: 0420600012\0060. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2006/04/pdf/07.pdf>, 1,625 у.п.л.

4. Лойко В.И. Методика и модели оценки эффективности хлебопродуктовых производственных объединений потребительской кооперации / В.И. Лойко, Т.В. Першакова, О.В. Ищенко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2005. – №02(10). С. 176 – 195. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2005/02/pdf/16.pdf>, 1,25 у.п.л.
5. Ефанова Н.В., Лойко В.И. Модели и методики управления рисками в производственных системах АПК: Монография (научное издание). – Краснодар: КубГАУ, 2008. – 217 с.
6. Богославский С.Н., Лойко В.И., Макаревич О.А. Экономико-математический анализ технологически полной цепи по производству зерна, его переработке и реализации хлебопродукции // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2009. – №10(54).
7. Богославский С.Н. Обобщенная модель экономической эффективности технологически полной вертикально интегрированной системы по производству и реализации хлебопекарной продукции // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – №04(58).
8. Богославский С.Н. Конкретизация обобщенной потоковой модели экономической эффективности технологически полной вертикально интегрированной системы по производству и реализации хлебопекарной продукции // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – №04(58).
9. Лойко В.И., Ефанова Н.В., Богославский С.Н. Применение треугольных нечетких чисел для прогнозирования величины материального потока в хлебопродуктовой цепи // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – №05(59).