

УДК 004.932; 621.791: 621.643

UDC 004.932; 621.791: 621.643

5.2.2. Математические, статистические и инструментальные методы экономики (физико-математические науки, экономические науки)

5.2.2. Mathematical, statistical and instrumental methods of economics (physical and mathematical sciences, economic sciences)

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ КОМБИКОРМОВ

### MODELING OF LOGISTIC PROCESSES IN THE PRODUCTION OF COMPOUND FEEDS

Ганичева Антонина Валериановна  
к.ф.-м.н., доцент кафедры Физико-математических дисциплин и информационных технологий  
SPIN-код: 9049-4545, AuthorID: 177856,  
ORCID: 0000-0002-0224-8945  
tgan55@yandex.ru

Ganicheva Antonina Valerianovna,  
Cand.Phys-Math.Sci., Associate Professor of the Department of Physical and Mathematical Sciences and Information Technologies  
RSCI SPIN-code: 9049-4545, AuthorID: 177856,  
ORCID: 0000-0002-0224-8945  
tgan55@yandex.ru

*Тверская государственная сельскохозяйственная академия, ул. Василевского, дом 7, поселок Сахарово, Тверь, 17131, Россия*

*Tver state agricultural academy, Vasilevskogo, p.Saharovo, Tver, 171314, Russia*

Ганичев Алексей Валерианович  
старший преподаватель кафедры Информатики и прикладной математики  
SPIN-код: 4747-0880, AuthorID: 178091  
ORCID: 0000-0003-3389-7582  
alexej.ganichev@yandex.ru  
*Тверской государственный технический университет, 170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, дом 22, Россия*

Ganichev Alexey Valerianovich  
Associate Professor of the Department of Computer Science and Applied Mathematics  
RSCI SPIN code: 4747-0880, AuthorID: 178091  
alexej.ganichev@yandex.ru  
*Tver State Technical University, Nikitina nab., 22, Tver, 170026, Russia*

Целью данной работы является разработка математической модели движения материальных потоков в логистической системе комбикормового завода. Рассмотрены основные логистические процессы при производстве комбикормов, начиная от поставки сырья и кончая сбытом готовой продукции. Эти процессы представлены в виде функциональной схемы сложной системы. Для формализации системы использован аппарат теории массового обслуживания. Изображен граф переходов системы, записана система дифференциальных уравнений Колмогорова. Показано, как путем решения данной системы определить вероятности состояний системы через плотности материальных потоков

The purpose of this work is to develop a mathematical model of the movement of material flows in the logistics system of a feed mill. The main logistic processes in the production of compound feeds are considered, starting from the supply of raw materials and ending with the sale of finished products. These processes are presented in the form of a functional diagram of a complex system. The queuing theory apparatus is used to formalize the system. The graph of transitions of the system is depicted, the system of Kolmogorov differential equations is written. It is shown how, by solving this system, to determine the probabilities of the states of the system through the densities of material flows.

Ключевые слова: КОМБИКОРМ, ЛОГИСТИКА, СИСТЕМА, МАТЕРИАЛЬНЫЙ ПОТОК, ГРАФ ПЕРЕХОДОВ, СИСТЕМА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Keywords: FEED, LOGISTICS, SYSTEM, MATERIAL FLOW, TRANSITION GRAPH, SYSTEM OF DIFFERENTIAL EQUATIONS

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-198-005>

## Введение

Логистические процессы в кормопроизводстве связывают растениеводство и животноводство через процессы выращивания

<http://ej.kubagro.ru/2024/04/pdf/05.pdf>

кормовых культур с процессами кормления животных. Связующим звеном этих процессов является производство комбикормов.

Существенная часть затрат на производство комбикормов приходится на логистическую составляющую. Разработка моделей АПК является важной и актуальной задачей [1]. Для описания и расчета характеристик сложной системы производства комбикормов наиболее удобным является математический аппарат теории массового обслуживания, который использован в данной статье для формализации процессов в логистической системе комбикормового завода.

### **1. Логистические процессы при производстве комбикормов**

Рассмотрим основные логистические процессы при производстве комбикормов, премиксов, белковых минерально-витаминных добавок.

При производстве комбикормов используется большое количество видов сырья. Зерновое сырье составляет 60-65 % общего состава во всех комбикормах. Зерновые собираются только в определенное время года. Поэтому необходимо создание рациональных запасов данного вида сырья. Сырье может доставляться на комбикормовые заводы из разных пунктов производства пищевых и кормовых ингредиентов различными видами транспорта (железнодорожным, автомобильным специальными тракторными прицепами и т.д.). Для работы с поступившим сырьем необходим участок приема, учета и взвешивания сырья, оснащенный современными погрузочно-разгрузочными средствами, электронными весами, программы автоматизации учета сырья. Важнейшим процессом работы с сырьем является контроль качества сырья. К качеству сырья предъявляются самые строгие требования. Качество сырья во многом определяет качество готового комбикорма. Проверяются: идентификация товара, органолептические показатели поражение вредителями, примеси и т.д. Высокие требования предъявляются к складским помещениям для

сырья. Желательно, чтобы каждая партия сырья хранилась отдельно от других. Это позволяет учесть характеристики сырья, закладываемого в рецепт. Хранение сырья должно соответствовать требованиям к производственным объектам, осуществляющим производство комбикормов, кормовых добавок. После изготовления комбикормов, премиксов, белковых минерально-витаминных добавок в производственном цехе они поступают в хранилище готовой кормовой смеси. Здесь необходимы технические и программные средства учета и хранения готовой продукции. Требуется современное оборудование и технические средства для комплектации заказа, упаковывания готовой продукции и отгрузки, отправки и транспортировки ее потребителю.

Схема логистических процессов на комбикормовом заводе показана на рис. 1.

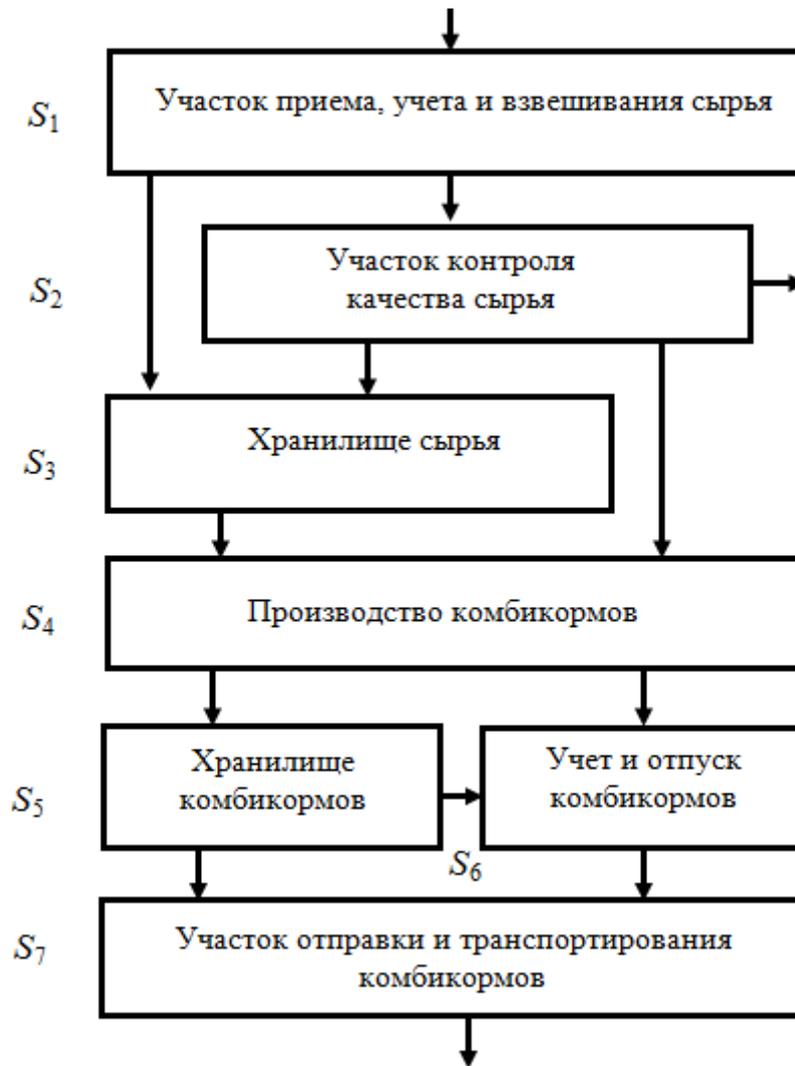


Рис. 1. Схема материальных потоков при производстве комбикормов

Проведенный анализ логистических процессов на комбикормовом заводе показывает, что они затрагивают закупочную, производственную, сбытовую, транспортную и складскую логистики. В рассматриваемой сложной логистической системе циркулируют материальные, физические и информационные потоки.

## 2. Математическая модель логистических процессов

Для описания материальных потоков при производстве комбикормов применим методы теории массового обслуживания.

На рис. 1 обозначены  $S_i$  ( $i = \overline{1,7}$ ) состояния системы, связанные с изменением материальных потоков. События, связанные с состояниями системы будем считать случайными, происходящими с определенными

вероятностями. Процесс перехода системы из одного состояния в другое будем считать марковским [2, 3] при пуассоновском потоке продукции с плотностью  $\lambda_{ij} = \frac{1}{t_{ij}}$  ( $t_{ij}$  - время перехода из состояния  $S_i$  в  $S_j$ ). При пуассоновском потоке за малый промежуток времени поступает не более одной единицы потока, а на непересекающиеся участки времени единицы потока поступают независимо.

Граф переходов системы изображен на рис. 2.

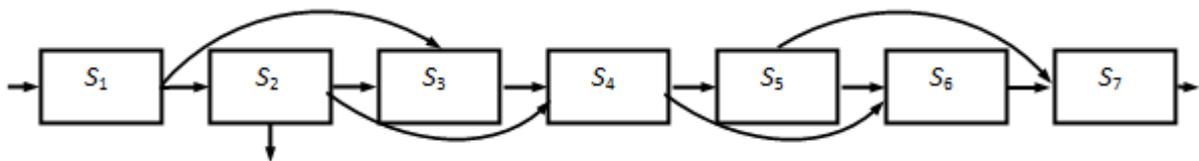


Рис. 2. Граф переходов системы

Обозначим:  $P_i(t)$  - вероятность нахождения системы в состоянии  $S_i$  ( $i = \overline{1,7}$ );  $\lambda_{ij}$  ( $i = \overline{1,6}, j = \overline{1,7}, i \neq j$ ) - плотности потока переходов,  $\lambda_1$  - плотность входного потока сырья,  $\lambda_7$  - плотность потока отбракованного сырья (не прошедшего контроль качества).

Система дифференциальных уравнений, описывающих систему на рис. 1 в соответствии с графом переходов на рис. 2, имеет вид:

$$\begin{cases} P_1'(t) = -\lambda_{12}P_1(t) - \lambda_{13}P_1(t) + \lambda_1P_1(t); \\ P_2'(t) = \lambda_{12}P_1(t) - \lambda_{23}P_2(t) - \lambda_{24}P_2(t) - \lambda_2P_2(t); \\ P_3'(t) = \lambda_{23}P_2(t) + \lambda_{13}P_1(t) - \lambda_{34}P_3(t); \\ P_4'(t) = \lambda_{34}P_3(t) + \lambda_{24}P_2(t) - \lambda_{45}P_4(t) - \lambda_{46}P_4(t) + \lambda_{14}P_1(t); \\ P_5'(t) = \lambda_{45}P_4(t) - \lambda_{56}P_5(t) - \lambda_{57}P_5(t); \\ P_6'(t) = \lambda_{46}P_4(t) + \lambda_{56}P_5(t) - \lambda_{67}P_6(t); \\ P_7'(t) = \lambda_{47}P_4(t) + \lambda_{57}P_5(t) + \lambda_{67}P_6(t) - \lambda_7P_7; \end{cases} \quad (1)$$

В установившемся режиме, так как все  $P_i(t)$  постоянны, левая часть системы (1) становится нулевой, а сама система - однородной. Для данного случая решение системы относительно  $P_i$  ( $i = \overline{1,7}$ ) можно найти следующим образом.

Из первого уравнения следует, что  $\lambda_1 = \lambda_2 + \lambda_{12}$ .

Преобразуем второе и третье уравнения. Получим:

$$\lambda_{23}P_2 + \lambda_{24}P_2 + \lambda_2P_2 = \lambda_{12}P_1;$$

$$-\lambda_{23}P_2 + \lambda_{34}P_3 = \lambda_{13}P_1.$$

Отсюда  $P_2 = P_1(\lambda_{12} + \lambda_{13} + \lambda_{14} + \lambda_1)/\lambda_{21}$ ;

$$P_3 = (\lambda_{13} + \lambda_{12}\lambda_{23}/(\lambda_{23} + \lambda_{24} + \lambda_2))P_1.$$

Тогда:

$$P_4 = (\lambda_{34} + \lambda_{24}P_2)/(\lambda_{45} + \lambda_{46}); P_5 = \lambda_{45}P_4/(\lambda_{56} + \lambda_{57});$$

$$P_6 = (\lambda_{46}P_4 + \lambda_{56}P_5)/\lambda_{67}; P_7 = (\lambda_{47}P_4 + \lambda_{57}P_5 + \lambda_{67}P_6)/\lambda_7.$$

Из этих равенств находим выражение для вероятностей  $P_4, P_5, P_6, P_7$

через  $P_1$ . Поскольку  $\sum_{i=1}^7 P_i(t) = 1$ , отсюда определяется  $P_1$ , а затем и все остальные вероятности.

Плотности материальных потоков можно определить путем проведения замеров на входах / выходах функциональных элементов рассматриваемой системы. Знание вероятностей состояний системы позволит оптимизировать логистические процессы в производстве комбикормов путем согласования продолжительности отдельных логистических операций.

### **Заключение**

В статье с помощью математического аппарата теории массового обслуживания формализованы процессы в логистической системе производства комбикорма. Показан метод расчета характеристик системы (вероятностей нахождения системы на определенных этапах движения материального потока) в установившемся режиме на основе решения системы однородных алгебраических уравнений.

Дальнейшим развитием моделирования логистических систем в кормопроизводстве является разработка моделей транспортной логистики

сырья и готовой продукции, моделей управления запасами складского хозяйства. Важной проблемой логистики кормопроизводства является моделирование входного выборочного контроля сырья, когда отбирается проба продукта и образец для хранения.

### **Литература**

1. Микитаева, И.Р. Оптимизация зерновой логистики с учетом региональных особенностей // Экономика сельского хозяйства России. – 2017. – № 3. – (Проблемы эффективного хозяйствования). – С. 2-6.
2. Ганичева А.В. Теория вероятностей. СПб: «Лань». - 2017. - 144 с.
3. Ганичева А.В., Ганичев А.В. Системный анализ логистического процесса // Междисциплинарные исследования экономических систем: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Тверь: Тв ГТУ, 2022. - С. 24-30.

### **References**

1. Mikitaeva, I.R. Optimizacija zernovoj logistiki s uchetom regional'nyh osobennostej // Jekonomika sel'skogo hozjajstva Rossii. – 2017. – № 3. – (Problemy jeffektivnogo hozjajstvovanija). – S. 2-6.
2. Ganicheva A.V. Teorija verojatnostej. SPb: «Lan'». 2017. 144 s.
3. Ganicheva A.V., Ganichev A.V. Sistemnyj analiz logisticheskogo processa // Mezhdisciplinarnye issledovanija jekonomicheskikh sistem: materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoi konferencii. Tver': Tv GTU, 2022. S. 24-30.