

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ПРИ СОЗДАНИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СКЛАДСКИМИ ЗАПАСАМИ

**Е.В. Галушко,**

*доцент каф. прикладной информатики БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

**А.П. Мириленко,**

*доцент каф. электротехники БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

**Н.Г. Серебрякова,**

*зав. каф. прикладной информатики БГАТУ, канд. пед. наук, доцент*

**А.И. Шакирин,**

*доцент каф. прикладной информатики БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

*В статье рассмотрены аспекты современных способов управления складскими запасами. Проведен анализ существующих методологий и видов управления пополнением товарного запаса и возможностей исключения дополнительных издержек на содержание сверхнормативного запаса товара на складе. Описан подход по созданию интеллектуальной системы управления складскими запасами, основанный на применении нечеткой логики.*

*Ключевые слова: нечеткая логика, лингвистическая переменная, математические модели, критерии качества, набор правил, функция принадлежности, критерий Мамдани.*

*The article deals with the aspects of modern methods of inventory management. The analysis of existing types of methodologies and management of restocking and possible exceptions of the additional costs to maintain excess inventory of goods in stock is made. An approach to build intelligent inventory management system based on the use of fuzzy logic is described.*

*Keywords: fuzzy logic, linguistic variable, mathematical models, quality criteria, set of rules, membership function, Mamdani criterion.*

### Введение

В организации складских операций и управления запасами кроются проблемы или успехи предприятий, деятельность которых без складов невозможна. На уровне предприятий запасы относятся к числу объектов, требующих больших капиталовложений, и поэтому представляют собой один из факторов, определяющих их экономическую политику и уровень эффективности.

Для конкретного предприятия выбор системы управления запасами определяется условиями его работы, особенностями организационной культуры, готовностью руководства к изменениям, которых потребует введение той или иной концепции управления запасами, отношением предприятия с поставщиками и потребителями, техническим и технологическим оснащением, уровнем компьютеризации предприятия. Существуют различные методики определения того, сколько необходимо закупать материалов для производства продукции и с какой периодичностью они должны поступать от поставщиков.

Традиционным считается способ, когда размер заказа формируется специалистами, которые полностью несут ответственность за комплектацию складских запасов. При этом в качестве средств автоматизации применяются системы, отслеживающие коли-

чественный состав определенных наименований на складе и динамику их расхода. Методы, основанные на традиционном подходе, имеют очевидные недостатки, связанные с человеческим фактором.

Другой способ, позволяющий формировать заказ – использование «научного» подхода, что традиционно означает внедрение статистических и экономических расчетов необходимых операций над складским запасом, которые приближали бы его к понятию оптимального. Данные методы вполне действенны, хотя для их внедрения необходимо регулярное проведение математических расчетов, либо же их использование сводится к применению готовых формул, что снижает их эффективность из-за разнородности товаров. Также следует отметить, что все они требуют информации о том, как использовались аналогичные материалы в прошлом [1-5].

Целью настоящей работы является создание интеллектуальных систем управления складскими запасами на основе методов нечеткой логики.

### Основная часть

В последнее время появилось и активно развивается новое направление в автоматизации управления складскими запасами промышленных предприятий, которое заключается в использовании интеллекту-

альных систем, основанных на нечеткой логике [6, 7], для выполнения формирования заказов. Нечеткая логика является обобщением классической логики и теории множеств, базирующейся на понятии нечеткого множества как объекта с функцией принадлежности элемента к множеству, принимающей любые значения в интервале от 0 до 1, а не только 0 или 1. На основе этого понятия вводятся различные логические операции над нечеткими множествами и формулируется понятие лингвистической переменной.

Традиционный подход к разработке алгоритмов управления динамическими объектами предполагает выполнение следующих основных этапов:

- определение совокупности входных и выходных переменных;
- создание математической модели управляемого объекта;
- формирование критерия качества управления;
- выбор аппарата оптимизации;
- оценка возможных значений переменных пространства состояний объекта управления;
- синтез алгоритма управления.

Синтез алгоритмов интеллектуального управления на базе методов нечеткой логики осуществляется

практически по той же схеме.

Большинство интеллектуальных систем управления имеет структуру, обобщенный вид которой представлен на рис. 1.

Модель объекта управления строится в виде логико-лингвистического описания взаимосвязей входных управляющих воздействий и выходных координат состояния. В этом случае для каждого из входных и выходных параметров устанавливается собственная лингвистическая переменная. В свою очередь значения лингвистических переменных определяют разбиение области допустимых изменений входных и выходных параметров на пересекающиеся нечеткие множества, соответствие которым задается функциями принадлежности (ФП). Модели такого типа предназначены для формализации неточных, размытых в смысловом отношении суждений и строятся с использованием обобщенных категорий, задающих классификацию исходных понятий на уровне нечетких множеств. Следует отметить, что соответствующие методы нечеткого логического вывода позволяют обеспечить параллельную интерпретацию имеющихся «знаний» с помощью специализированных средств аппаратной поддержки, обладающих высоким быстродействием.

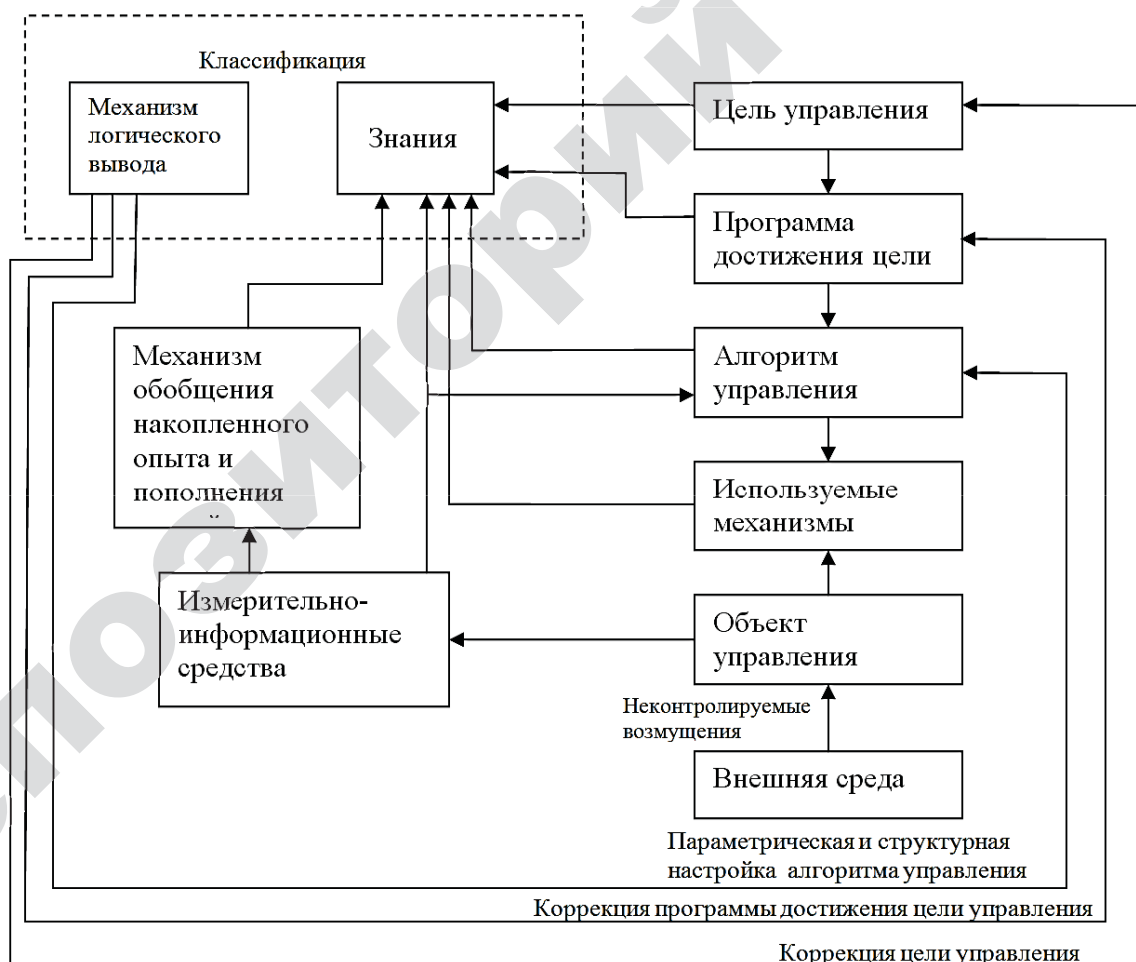


Рисунок 1. Структурная схема системы интеллектуального управления

В основе нечеткой логики используется механизм отображения входного пространства в выходное в виде набора правил вида: «if..., then...» («если..., то...»). Например, если вода слишком горячая, то нужно завернуть кран горячей воды.

Все правила оцениваются параллельно. При этом порядок правил не важен. Прежде чем строить систему, описываемую правилами, необходимо определить все члены, которые будут использованы в системе, и прилагательные для их описания. Например, для температуры воды прилагательными могут быть: холодная, горячая, теплая и т.п.

Последовательность этапов нечеткого логического вывода приведена на рис. 2.

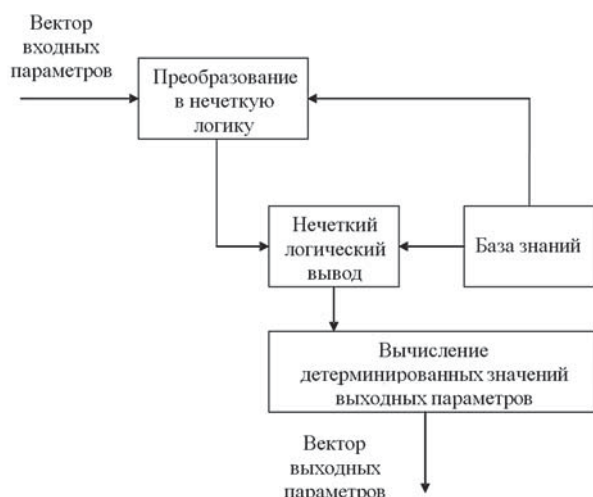


Рисунок.2. Последовательность этапов нечеткого логического вывода

Основные причины, по которым отдается предпочтение применению систем с нечеткой логикой:

- концептуально легче для понимания;
- гибкая система устойчива к неточным входным параметрам;
- может моделировать нелинейные функции произвольной сложности;
- базируется на естественном языке человеческого общения.

На основе изложенных принципов была разработана интеллектуальная система для автоматизации процесса управления складскими запасами с использованием нечеткой логики.

К основным функциям системы относятся:

- хранение данных по всем предыдущим периодам;
- хранение информации о поставщиках;
- «предвидение» возможных задержек в поставке;
- постоянный контроль в реальном масштабе времени количества товара на складе.

При разработке и настройке конкретного модуля программы, отвечающего за работу с нечеткой логикой, были сформулированы 54 правила для 5 нечетких переменных. Для функции нечеткого вывода был выбран алгоритм Мамдани и метод «центра тяжести» [6, 7]. Алгоритм Мамдани описывает несколько последовательно выполняющихся этапов (рис. 3). При этом каждый последующий этап получает на вход значения, полученные на предыдущем шаге.

Основой для выбора лингвистических переменных служит принцип и организация работы предприятия, под которое настраивается система управления запасами. Для этого рассматривается зависимость уровня продаж от дня недели, отдаленности от текущей даты, а также зависимость уровня продаж от времени года.

Набор лингвистических переменных позволяет контролировать уровни продаж за несколько дней, при этом у администратора есть возможность корректировать работу всей системы за счет подбора необходимых переменных.

Для всех лингвистических переменных, кроме переменной «Количество на складе», может быть выбран один набор термов: «мало», «средне», «много». Для переменной «Количество на складе» набор термов включает только «мало» и «средне». Терм «много» исключается из списка, т.к. при большом количестве товара на складе система не будет ничего заказывать.

При настройке системы необходимо выбрать оптимальное количество переменных. Большое количество получается избыточным, если же сделать меньше переменных, то работа системы будет нестабильной и потребуются постоянная подстройка всех переменных в целом. Набор лингвистических переменных для данного случая представлен в табл. 1.

Выбор формы ФП определяет работу всех узлов системы, структуру базы данных, точность сформированного размера заказа и удобство работы пользователя.

Для термов «мало» и «много» можно выбрать Z и S-образные (соответственно) формы функций принадлежности. Для терма «средне» можно было бы использовать трапециевидную форму, но при более глубоком анализе оказывается, что данная форма ФП не достаточно удобна. Во-первых, а это основная причина отказа от использования трапециевидного вида формы, использование данной формы ФП значительно увеличивает количество параметров, контролируемых администратором. Во-вторых, использование такой формы ФП не дает никаких преимуществ перед другими видами, что и предопределяет отказ от данной формы ФП.



Рисунок.3. Граф алгоритма Мамдани

**Таблица 1. Набор лингвистических переменных**

Переменная	Назначение	Описание
Продано сегодня	Входной параметр	Определяет количество товара, проданного за текущий день
Продано вчера	Входной параметр	Определяет количество товара, проданного вчера
Продано год назад	Входной параметр	Определяет количество товара, проданного в текущий день год назад
Количество на складе	Входной параметр	Определяет количество товара, находящееся на данный момент на складе
Размер заказа	Выходной параметр	Определяет количество товара, которое необходимо заказать

Исходя из вышеизложенного, была выбрана Л-образная форма и введена зависимость всех координат ФП от центрального параметра Л-образной формы. В итоге ФП получили вид, показанный на рис. 4.

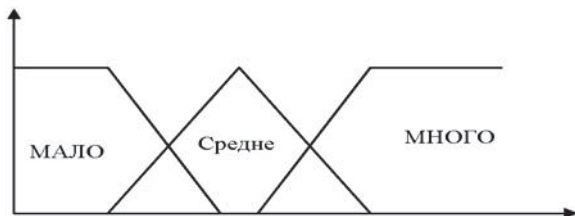


Рисунок 4. Функции принадлежности, выбранные для задания нечетких переменных

Данные по всем лингвистическим переменным (название, координаты центра и т.д.) хранятся в таблице «tbFuzzyFunctions».

Основой построения интеллектуальной системы с нечеткой логикой является подбор нечетких правил.

В данном случае система состоит из 4 входных параметров, схожих по смыслу:

- 1) продано сегодня (П\_С);
- 2) продано вчера (П\_В);
- 3) продано в этот день год назад (П\_Г);
- 4) количество на складе (К\_С).

База нечетких правил была составлена из правил, подобных приведенным ниже:

- если П\_С много, то если П\_В много, то если П\_Г средне, то если К\_С средне, то заказывать много;
- если П\_С мало, то если П\_В средне, то если П\_Г средне, то если К\_С средне, то заказывать мало;
- если П\_С средне, то если П\_В много, то если П\_Г средне, то если К\_С мало, то заказывать много.

По такому принципу составлены 54 нечетких правила. Описание всех этих правил хранится в таблице «tbRules».

Для нечеткого вывода в данном случае наиболее подходит алгоритм Мамдани [5]. Математическая модель данного алгоритма может быть описана следующим образом.

1. Нечеткость: находятся степени истинности для предпосылок каждого правила:

$$A_1(x_0), A_2(x_0), B_1(y_0), B_2(y_0).$$

2. Нечеткий вывод: находятся уровни «отсечения» для предпосылок каждого из правил (с использованием операции «min»):

$$\alpha^1 = A_1(x_0) \wedge B_1(y_0);$$

$$\alpha^2 = A_2(x_0) \wedge B_2(y_0),$$

где через « $\wedge$ » обозначена операция логического минимума (min).

После этого находятся «усеченные» функции принадлежности:

$$C_1 = (\alpha_1 \wedge C_1(z));$$

$$C_2 = (\alpha_2 \wedge C_2(z)).$$

3. Композиция: с использованием операции «max», далее обозначаемой как « $\vee$ », производится объединение найденных усеченных функций, что приводит к получению итогового нечеткого подмножества для переменной выхода с ФП следующего вида:

$$\mu_{\Sigma}(z) = C(z) = C'_1(z) \vee C'_2(z) =$$

$$= (\alpha_1 \wedge C_1(z)) \vee (\alpha_2 \wedge C_2(z))$$

4. Приведение к четкости для нахождения  $z_0$  проводится методом нахождения центра тяжести под кривой ФП.

Графическая сущность данного алгоритма представлена на рис. 5.

Настройка работы нечеткой логики заключается в подборе параметров для каждой ФП. Причем, при настройке должен учитываться следующий фактор: если система переходит в один из дней в состояние, при котором товар на складе отсутствует вообще, то считается, что система не может работать с такими параметрами, т.к. на предприятии получается день простоя.

Эффективность работы системы определяется по следующим показателям:

1. Система должна работать автономно.
2. Система должна оптимизировать работу складских отделов предприятий, т.е. способствовать уменьшению их загруженности и освобождению материальных средств предприятия, практически замороженных на складе.

3. Количество товара на складе не должно быть больше уровня, необходимого для нормальной работы предприятия, при всех возможных задержках и скачках спроса.

Программная реализация поставленной задачи была выполнена в среде разработки VS2003 на языке программирования C#. Для связи с СУБД применена технология ADO.Net. В качестве СУБД использован MSSQL Server 2000.

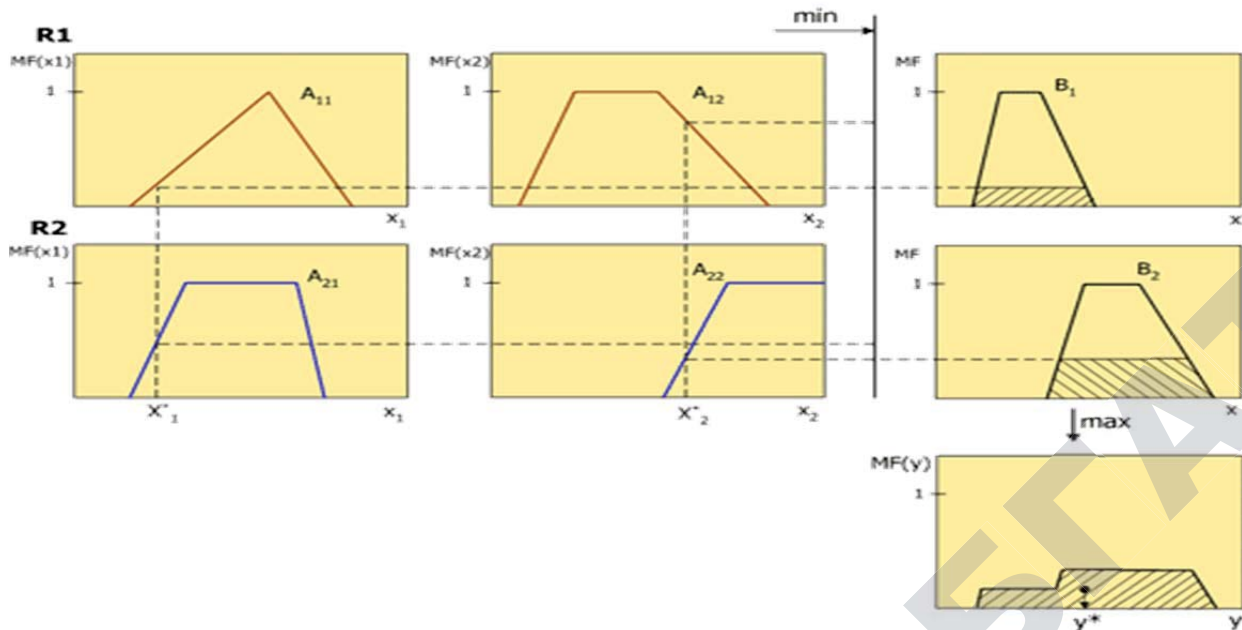


Рисунок 5. Схема нечеткого вывода по Мамдани

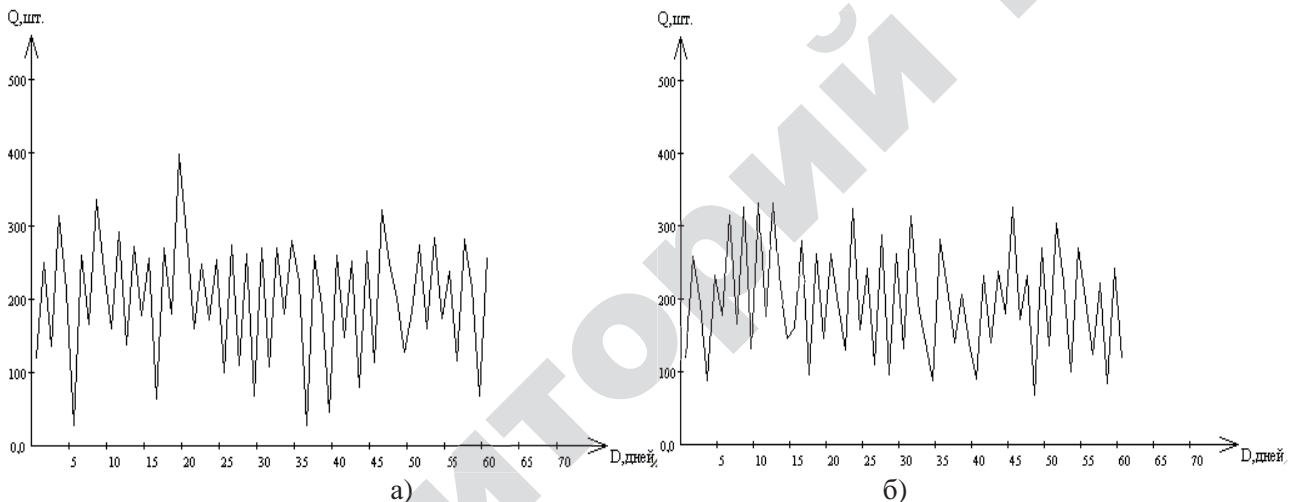


Рисунок 6. Графики за различные а) и б) 60 дней работы системы

Результаты моделирования работы системы приведены на рис. 6. Графики а и б показывают количество товара на складе в конце рабочего дня на протяжении двух различных 60-дневных периодов тестовых выборок. Из графиков а и б следует, что для обеих выборок, с учетом продаж за анализируемые дни, система обеспечивает хранение на складе некоторого количества товаров, которое позволяет избежать дефицита в те дни, когда в спросе наблюдается всплеск, а в те дни, когда в спросе наблюдается спад – обеспечивает уменьшение количества заказываемых товаров.

### Заключение

1. Рассмотрены аспекты современных способов управления складскими запасами. Проведен анализ существующих методов и видов управления пополнением товарного запаса и возможностей исключения

дополнительных издержек на содержание сверхнормативного запаса товара на складе.

2. Для автоматизации процесса управления складскими запасами описан подход по созданию интеллектуальной системы, основанный на применении метода нечеткой логики. В основные функции системы входят: хранение данных по всем предыдущим периодам и информации о поставщиках, «предвидение» возможных задержек в поставке, постоянный контроль в реальном масштабе времени количества товара на складе.

3. Для модуля, отвечающего за работу с нечеткой логикой, сформулированы 54 правила для 5 нечетких переменных. Для функции нечеткого вывода выбран алгоритм Мамдани и метод «центра тяжести».

4. Для программной реализации поставленной задачи выбрана среда разработки VS2003, язык про-

граммирования C#. Для связи с СУБД использовалась технология ADO.Net. В качестве СУБД выбран MSSQL Server 2000.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блохин, В.М. Новые методы управления сложными системами / В.М. Блохин.– М.: Наука, 2004. – 333 с.
2. Кричевский, М.Л. Интеллектуальные методы в менеджменте / М.Л. Кричевский. – СПб.: Питер, 2005. – 304 с.
3. Волгин, В.А. Склад. Организация, управление, логистика / В.А. Волгин.– М.: Дашков и Ко, 2006. – 732 с.

4. Плоткин, Б.К. Управление материальными ресурсами: очерк коммерческой логистики: учеб. пособ. / Б.К. Плоткин.– Л.: ЛЭФИ, 1991. – 128 с.

5. Применение технологии поддержки принятия решений в программе балансирования рационов / Е.В. Галушко [и др.] // Агропанорама. – 2015. – № 5. – С. 6-12.

6. Кузьмин, В.С. Интеллектуальные технологии управления. Искусственные нейронные сети и нечеткая логика / В.С. Кузьмин, А.А. Усков.– М.: Горячая Линия – Телеком, 2004. –144 с.

7. Ярушкина, Н. Г. Основы теории нечетких и гибридных систем: учеб. пос. / Н. Г. Ярушкина. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 320 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 18.05.2017

УДК 338.43

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТА БИОЛОГИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ ПОСЕВОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

**Г.И. Гануш,**

*зав. каф. экономической теории и права БГАТУ, докт. экон. наук, профессор, чл.-кор. НАН Беларуси*

**А.А. Бурачевский,**

*ассистент каф. менеджмента и маркетинга БГАТУ*

*Обоснована экономико-экологическая целесообразность совершенствования структуры посевов в направлении создания адаптивных систем производства. Предложена методика оценки эффекта биологизации структуры посевных площадей путем увеличения доли многолетних трав. Представлен алгоритм разработки данной методики, изложены этапы ее практического применения.*

*Ключевые слова: адаптивные системы растениеводства, животноводство, структура посевных площадей, сельхозорганизации, многолетние травы, биологизация, этапы, эффективность, методика, алгоритм.*

*The economic and ecological feasibility to improve the structure of crops for creating adaptive production systems is substantiated. A technique for assessing the effect of biologization of the structure of sown areas is proposed by increasing the proportion of perennial grasses. An algorithm to develop this technique is presented; stages of its practical application are described.*

*Keywords: adaptive systems of plant growing, livestock, the structure of sown areas, agricultural organizations, perennial grasses, biologization, stages, efficiency, methodology, algorithm.*

### Введение

Биологизация земледелия является одним из важнейших направлений освоения адаптивных систем ведения сельского хозяйства. Данный процесс по своему содержанию представляет целесообразное внедрение агротехнологий, максимально ориентированных на использование естественных (природных) факторов роста и развития сельскохозяйственных растений, что позволяет минимизировать или отказаться полностью от широкого применения в сельскохозяйственных технологиях дорогостоящих и экологически небезопасных удобрений, а также средств защиты химического происхождения. В этой связи

биологизация земледелия и растениеводства, как базовая составляющая адаптивных систем ведения сельского хозяйства, выступает одним из приоритетных направлений реализации концепции «зеленой» экономики в Республике Беларусь [1].

### Основная часть

Важнейшим направлением биологизации растениеводства выступает формирование адаптивных структур посевов в сельхозорганизациях. Данное направление ориентировано на максимальное раскрытие потенциала эффективности адаптивного агробиоценоза путем приоритетного использования нахо-