

G.V. Alekseev, I.I. Kholyavin, O.I. Aksenova
USE OF MATHEMATICAL MODELING FOR EVALUATION
OF COST-EFFECTIVENESS IN THE REAL ECONOMY

Gennady Alekseev – Chair of information technologies and higher mathematics department, State Institute of Economics, Finance, Law and Technologies, Doctor of Technical Sciences, Gatchina; **e-mail: gva2003@rambler.ru.**

Ivan Kholyavin – Associate Professor at information technologies and higher mathematics Department, State Institute of Economics, Finance, Law and Technologies, PhD in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Gatchina; **e-mail: gva2003@rambler.ru.**

Olga Aksenova – a post-graduate student at processes and tools of food production department, Saint-Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Saint-Petersburg; **e-mail: gva2003@rambler.ru.**

The article deals with a new approach of evaluating cost-effectiveness in the field of pet food production on the basis of the use of secondary raw materials and the best value recipe resulted from mathematical modeling based on the fuzzy logic tool. To ensure implementation of the proposed method Fuzzy Logic Toolbox module as a part of MatLab package has been used with Surfase Viewer module being used in order to present modeling results in a graphic form.

The article provides analytical analysis of the results of experiment which indicates feasibility of the proposed methodology for different gender groups of animals.

Keywords: resource efficiency; unproductive animals; mathematical modeling; fuzzy logic tool; best value recipe; gender groups.

Г.В. Алексеев, И.И. Холявин, О.И. Аксенова
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ В РЕАЛЬНОМ СЕКТОРЕ ЭКОНОМИКИ

Геннадий Валентинович Алексеев – зав. кафедрой информационных технологий и высшей математики, Государственный институт экономики, финансов, права и технологий, доктор технических наук, профессор, г. Гатчина; **e-mail: gva2003@rambler.ru.**

Иван Иванович Холявин – доцент кафедры информационных технологий и высшей математики, Государственный институт экономики, финансов, права и технологий, кандидат физико-математических наук, доцент, г. Гатчина; **e-mail: gva2003@rambler.ru.**

Ольга Игоревна Аксенова – аспирант кафедры процессов и аппаратов пищевых производств ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», г. Санкт-Петербург; **e-mail: gva2003@rambler.ru.**

В статье рассмотрен новый подход к оценке эффективности в сфере производства кормов для домашних животных на основе использования вторичного пищевого сырья и применения оптимальных рецептур, обеспечиваемых математическим моделированием на основе аппарата нечеткой логики. Для реализации предлагаемой методики используется модуль Fuzzy Logic Toolbox, входящий в пакет MatLab, а для представления результатов моделирования в графическом виде используют модуль Surfase Viewer.

Приведены аналитические выкладки и результаты эксперимента, свидетельствующие о работоспособности предложенной методики для различных гендерных групп животных.

Ключевые слова: ресурсосбережение; непродуктивные животные; математическое моделирование; аппарат нечеткой логики; оптимальные рецептуры; гендерные группы.

Одной из фундаментальных проблем реального сектора экономики, связанного с пищевыми производствами, является производство высококачественных продуктов питания при максимально полезном использовании пищевого сырья. При этом полезным можно считать и использование вторичного пищевого сырья для производства разнообразных кормов для животных.

В настоящее время в российской пищевой промышленности идет активное развитие производств кормов для непродуктивных животных. Однако производителям данного вида продукта приходится сталкиваться с комплексом проблем: низкий уровень развития сырьевой базы, отсутствие модернизации отрасли и обновления основных производственных фондов, неполное использование производственных мощностей, финансовая неустойчивость, нехватка собственных средств и сложность привлечения инвестиций, дефицит квалифицированных кадров и др. В результате доля импорта на рынке кормов, например, для домашних животных составляет 76% – сухих кормов, 85% – консервированных.

В то же время в условиях усиливающейся конкурентной борьбы на рынке таких кормов и изменяющихся предпочтений потребителей решение поставленных выше проблем возможно только на основе использования производственных инноваций.

Проблемы ограничения информационного обеспечения, неполного использования производственных мощностей, дефицита сырья с постоянными качественными показателями могут быть решены при помощи такого средства, как математическое моделирование. Математическое моделирование может базироваться на минимальном количестве эмпирических опытов, что ведет к снижению материальных и временных затрат. Также математическое моделирование дает более точные результаты, по сравнению с эмпирическими методами моделирования, что позволяет повысить качество продукции, усовершенствовать процессы производ-

ства и контроля на различных этапах.

Нестабильные качественные показатели сырья и взаимодействие компонентов смеси между собой затрудняют построение полной математической модели. Поэтому моделирование рецептуры кормов для непродуктивных животных осуществляется с помощью аппарата нечеткой логики. Преимуществом данного метода является возможность проведения анализа в условиях субъективной оценки эмпирических данных и при отсутствии явной числовой формы результата.

Особенно ярко преимущества этих систем проявляются при проектировании многокомпонентных пищевых продуктов, где велика неопределенность входных и выходных параметров, а качество оценивается по результатам сенсорного анализа. Сухой корм для непродуктивных животных относится к продуктам, обладающим данными характеристиками.

Также достоинством модели является возможность ее получения при выборе минимального набора закономерностей. Вследствие отсутствия необходимости ввода точных данных время, требуемое для моделирования, резко сокращается.

Аппарат нечеткой логики позволяет улучшить качество управления объектами, определить оптимальное соотношение рецептурных компонентов при проектировании новых многокомпонентных видов сухих кормов и сократить количество производственных опытов. Дополнительно он дает возможность повысить качество управления производством и контролем готового продукта в условиях информационной неопределенности, которая характерна для реального производства в отраслях пищевой промышленности.

Разработанная нами математическая модель рецептуры многокомпонентных кормов для непродуктивных животных подтверждена экспериментальными исследованиями. Достоверность и обоснованность полученных результатов определяются корректным применением аппарата нечеткой логики, а выводы и предложения не противоречат известным практическим результатам, содержащимся

в трудах специалистов по вопросам математического моделирования рецептур, в том числе моделирования рецептур кормов.

Для моделирования рецептуры сухого корма используется модуль Fuzzy Logic Toolbox, входящий в пакет MatLab. Построение системы проводится на основе экспериментальных данных и сенсорного анализа.

Качество полученного продукта зависит от следующих показателей: значение рН среды (СанПиН 2.3.2.1078-01.), влажность (ГОСТ 50817-95), концентрация белкового компонента, размер частиц (ГОСТ Р 52427-2005), пищевая ценность, общая биологическая обсемененность (ГОСТ Р 50454-92).

Желаемые диапазоны входных переменных:

- рН – 5–8;
- Влажность – vlajnost – 7–11%;
- Концентрация – concentration – 50–90%;
- Размер частиц – razmer_chastic – 0,3–0,8 мм;
- Пищевая ценность – pi_cennost – 100–500 ккал/100 гр;
- Общая биологическая обсемененность – ob_bacteriol_obsemenennost – 0–1000 клеток в 1 г корма.

Пример задания входных переменных отражен на рис. 1. Редактирование выходной переменной производится аналогично редактированию входных переменных.

Тип функции принадлежности каждой переменной соответствует распределению по Гауссу (рис. 2). Пример графика принадлежности функций после задания типа распределения отображен на рис. 3.

Связь входных переменных с выходными задают правила ввода, которые должны быть включены в систему после построения функций принадлежности. Для задания правил были установлены значения входных переменных, соответствующие наилучшим показателям качества:

- рН – 4–7,5, что соответствует «neutral»;
- влажность – vlajnost – 8–11%, что соответствует «srednaya» и «visokaya»;
- концентрация – concentration – 60–90%, что соответствует «srednaya» и «visokaya»;
- размер частиц – razmer_chastic – 0,5–0,6 мм, что соответствует «srednie»;
- пищевая ценность – pi_cennost – 250–300 ккал/100 г, что соответствует «horoshaya»;
- общая биологическая обсемененность – ob_bacteriol_obsemenennost – 0–1000 клеток в 1 г корма, что соответствует «dopustimaya».

В окно задания базы знаний вводятся соответствующие правила, связывающие входные переменные с выходной.

Для визуализации нечеткого логического вывода используют команду View rules (рис. 4). Данное средство просмотра

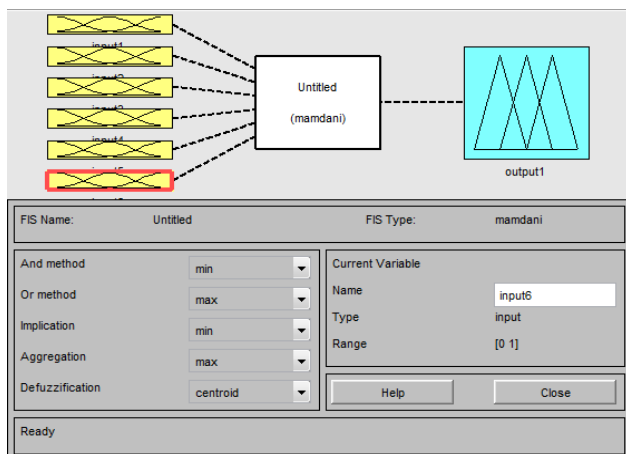


Рис. 1. Задание входных переменных в систему нечеткого вывода

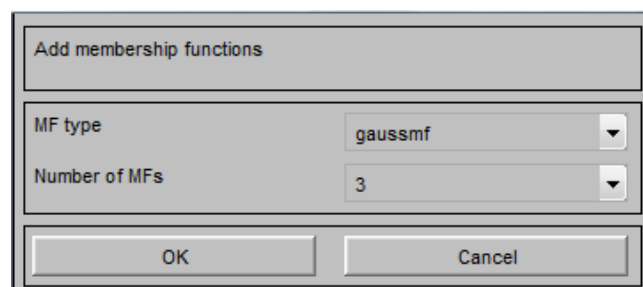


Рис. 2. Выбор вида функции принадлежности и их количества

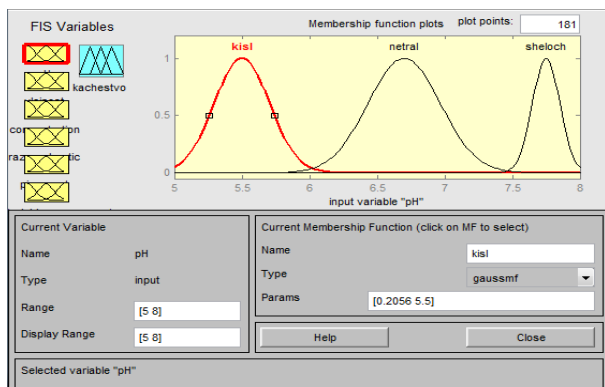


Рис. 3. Задание характеристик входной переменной рН

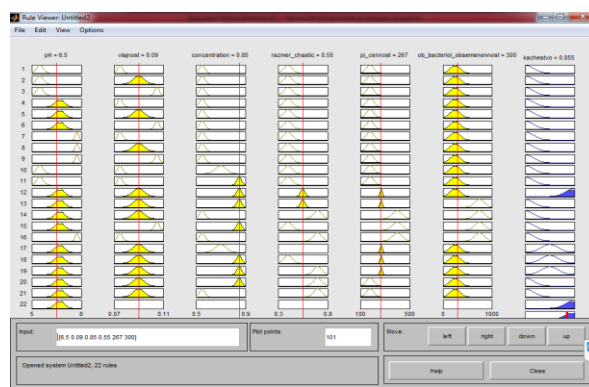


Рис. 4. Средства просмотра правил вывода системы нечеткой логики

правил позволяет отобразить процесс нечеткого логического вывода и получить результат.

Главное окно средства просмотра состоит из нескольких графических окон, располагаемых по строкам и столбцам. Количество строк соответствует числу правил нечеткого логического вывода, а количество столбцов – числу входных и выходных переменных, заданных в разрабатываемой системе. Дополнительное графическое окно служит для отображения результата нечеткого логического вывода и операции деафазификации.

В каждом окне отображается соответствующая функция принадлежности, уровень ее среза (для входных переменных) и вклад отдельной функции принадлежности в общий результат (для выходных переменных).

По результатам проведенного анализа были определены оптимальные значения параметров для достижения наилучших органолептических показателей, которые были оценены по поедаемости корма животными. Таким образом, было выявлено, что наилучшие органолептические характеристики достигаются при следующих значениях основных параметров: рН – 6,5; влажность – 9%; концентрация белковой составляющей – 85%; размер частиц – 0,55 мм; пищевая ценность – 267 ккал/ 100 г.

Для представления результатов моделирования в графическом виде используют модуль Surfase Viewer. Средство просмотра поверхности вывода позволяет

строить трехмерную поверхность как зависимость одной из выходных переменных от двух входных. Поверхность вывода, соответствующая благоприятному результату, окрашивается в желтый цвет, а соответствующая неблагоприятному результату окрашивается в синий цвет. Если результат соответствует некому среднему, промежуточному значению, то на графике эта область окрашивается в цвета градиентного перехода от желтого к синему (рис. 5-9).

По результатам моделирования показателей качества кормов авторами были проведены практические исследования, подтвердившие эффективность использования данного метода при разработке новых продуктов с заданными качественными характеристиками.

Практические исследования проводились на животных различных пород, относящихся к различным возрастным и гендерным категориям, не находящимся на естественном вскармливании. В экспериментах приняли участие 74 животных.

Была составлена рецептурная смесь для производства сухого кошачьего корма супер-премиум класса, в белковую составляющую которого входили мясо цыпленка, меланж сухой и молоко цельное сухое. Процентные соотношения ингредиентов рецептурной смеси и ее оптимальная влажность были определены экспериментальным путем.

В таблице представлены рецептуры кормов, на диаграммах, представленных на рис. 9 и 10, отражены результаты экс-

перимента: зависимость поедаемости корма животным от рецептуры корма и зависимость поедаемости корма от влажности.

Данный эксперимент подтвердил ре-

зультаты математического моделирования методами нечеткой логики для входных характеристик «концентрация белкового компонента» и «влажность рецептурной смеси».

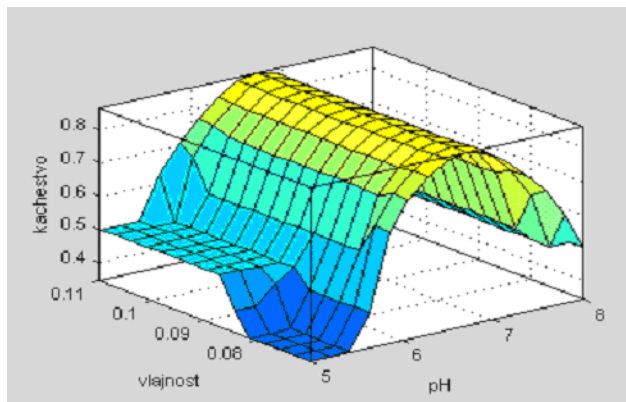


Рис. 5. Зависимость качества от pH и влажности

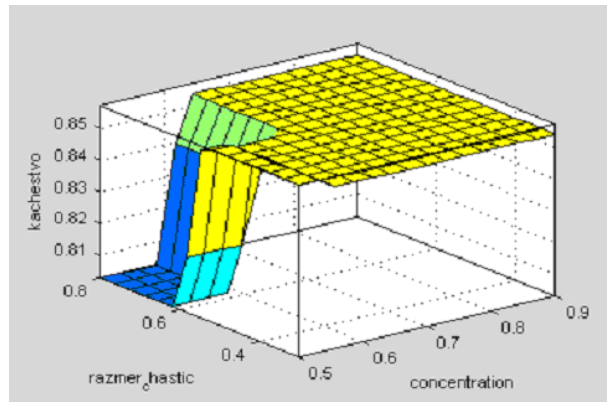


Рис. 6. Зависимость качества от концентрации и размера частиц

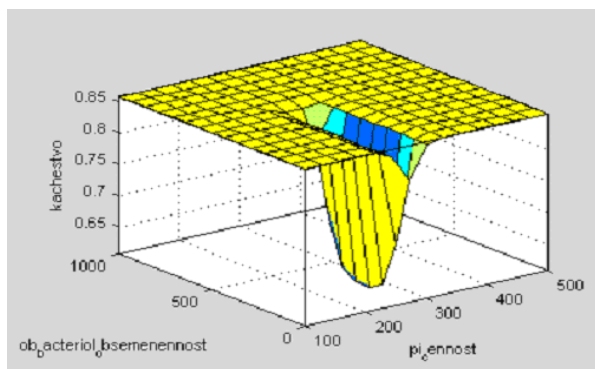


Рис. 7. Зависимость качества от пищевой ценности и биологической обсемененности

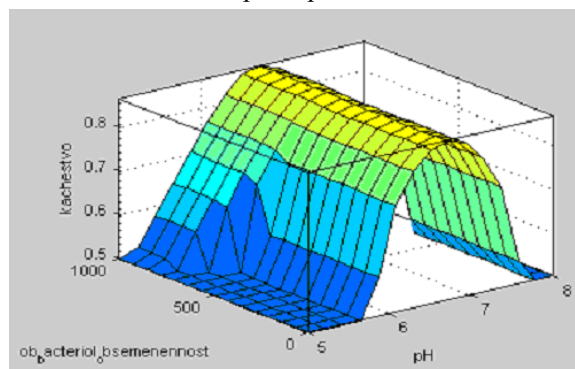


Рис. 8. Зависимость качества от pH и биологической обсемененности

Рецептуры сухих кормов для непродуктивных животных

ИНГРЕДИЕНТЫ СМЕСИ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Мясо цыпленка, %	35	55	35	35	35	15	15	15	4	4
Рисовая мука, %	25	5	5	15	15	15	45	15	50	26
Меланж сухой, %	4	10	25	5	5	5	10	45	4	20
Молоко цельное сухое, %	12	10	15	25	5	45	10	5	4	20
Жир говяжий топленый, %	14	9	9	9	34	9	9	9	27	19
Вода, %	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Дрожжи, %	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Анализ показал, что чрезмерное увеличение или, наоборот, уменьшение влажности кормов ведет к ухудшению органолептических и микробиологических показателей качества кормов, а концентрация белкового компонента должна находиться на уровне 50–70%. Уменьшение доли белка ведет к снижению пищевой ценности кормов и привлекательности корма для животного, а увеличение доли белка ведет к излишним экономическим затратам и дисбалансу рациона питания.

Таким образом, можно сделать вывод, что аппарат нечеткой логики может быть использован в производстве кормов для

оптимизации количественных и качественных характеристик рецептурной смеси, усовершенствования управления процессами производства и контроля качества продукции, снижения затрат на внедрение нового вида сухого корма для домашних животных.

С точки зрения интересов и потребностей общества в наиболее рациональном использовании пищевого сырья это позволяет повысить уровень ресурсосбережения пищевых производств за счет оптимального использования вторичных пищевых ресурсов.

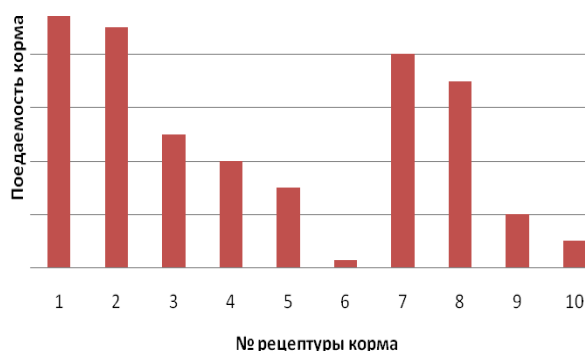


Рис. 9. Поедаемость корма животным в зависимости от рецептуры кормов

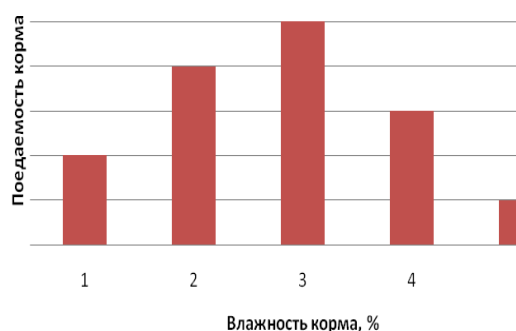


Рис. 10. Поедаемость корма в зависимости от влажности

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксенова О.И. Использование методов нечеткой логики при моделировании рецептур сухих кормов для домашних животных // Энергетика, информатика, инновации – 2013: сб. трудов III Международной научно-технической конференции. Смоленск, 2013. С. 207–211.

2. Аксенова О.И. Математическое моделирование рецептур кормов для непродуктивных животных, как инновационный метод составления рецептур // Современные материалы, техника и технология: сб. трудов III Международной научно-технической конференции. Курск, 2013. С. 20–22.

3. Аксенова О.И. Моделирование ФТС рецептурной смеси с учетом взаимодействия равнозначных компонентов // Перспективное развитие науки, техники и технологий: сб. трудов III Международной научно-практической конференции. Курск,

2013. С. 66–71.

4. Аксенова О.И., Шубенкова В.А. Методы нечеткой логики в моделировании рецептур пищевых продуктов // Молодежь в науке – 2013: сб. трудов Международной научной конференции молодых ученых. Минск, 2013. С. 3–4.

5. Аксенова О.И., Шубенкова В.А. Проектирование многокомпонентных продуктов с использованием теории нечетких множеств // Техника и технологии: роль в развитии современного общества: сб. трудов II заочной Международной научно-практической конференции. Краснодар, 2013. С. 34–35.

6. Аксенова О.И., Шубенкова В.А. Составление рецептурной смеси проектируемых продуктов при неопределенности структурных факторов показателей качества // Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство: сб. трудов Междуна-

родной научно-технической конференции. Воронеж, 2013. С. 816–820.

7. *Алексеев Г.В., Арет В.А., Верболоз Е.И., Кондратов А.В.* Возможность управления процессом измельчения путем изменения структурно-механических свойств пищевой смеси // Известия Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий. 2008. № 4. С. 54–58.

8. *Алексеев Г.В., Бриденко И.И.* Виртуальный лабораторный практикум по курсу «Механика жидкости и газа»: учеб. пособие. Саратов, 2013.

9. *Алексеев Г.В., Верболоз Е.И.* Современные подходы к рациональному использованию ресурсов при первичной об-

работке пищевого сырья // Вестник Международной академии холода. 2003. № 4. С. 35–39.

10. *Алексеев Г.В., Вороненко Б.А., Гончаров М.В., Холявин И.И.* Численные методы при моделировании технологических машин и оборудования. СПб.: ГИОРД, 2014. 200 с.

11. *Алексеев Г.В., Вороненко Б.А., Лукин Н.И.* Математические методы в пищевой инженерии. СПб.: ЛАНЬ, 2012. 176 с.

12. *Алексеев Г.В., Даниленко Е.А.* Возможности моделирования измельчения пищевых добавок для продуктов функционального питания // Вестник Международной академии холода. 2011. № 2. С. 16–18.