

УДК 532.5:681

Использование математического моделирования для ресурсосберегающих пищевых производств

Д-р техн. наук, проф. Алексеев Г.В., Аксенова О.И. gva2003@rambler.ru

Университет ИТМО

191002, Санкт-Петербург, ул.Ломоносова, 9

В статье рассмотрен новый подход к повышению ресурсосбережения в сфере производства кормов для домашних животных на основе использования вторичного пищевого сырья и 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. Особенno 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.

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

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.

Use of mathematical modeling for resursosberegayushchih food production

D.Sc. prof. Alexeev G.V., Aksanova O. gva2003@rambler.ru

ITMO University

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

New approach is considered In article to increasing resource in sphere production provender for home animal on base of the use secondary food cheese and optimum recipe, provided by mathematical modeling on base of the device of the ill-defined logic. For realization of the proposed methods is used module Fuzzy Logic Toolbox, falling into package MatLab, but for presentation result modeling in graphic type, use the module Surfase Viewer. Particularly brightly, the advantage of these systems reveal itself when designing multiplecolumn of the food-stuffs, where great uncertainty input and output parameter, but quality is valued on result of the touch analysis. The Dry provender for unproductive belly pertains to product possessing data feature.

In the same way value to models is, possibility of her reception at choice of the minimum set of the regularities. In consequence of absence of need of the entering exact data, time, required for modeling sharply grows shorter.

They Are Brought analytical выкладки and results of the experiment, being indicative of capacity to work of the offered methods for different гендерных of the groups animal.

The Keywords: resource, unproductive animals, mathematical modeling, device of the ill-defined logic, optimum recipe, age of the group.

Одной из фундаментальных проблем пищевых производств является производство высококачественных продуктов питания при максимально полезном использовании пищевого сырья. При этом полезным можно считать и использование вторичного пищевого сырья для разнообразных кормов животным.

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 тоже время в условиях усиливающейся конкурентной борьбы на рынке таких кормов и изменяющихся предпочтениях потребителей решение выше поставленных 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. Так же математическое моделирование дает более точные результаты, по сравнению с эмпирическими методами моделирования, что позволяет повысить качество продукции, усовершенствовать процессы производства 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 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.

Так же 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 в настоящей работе 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, содержащихся 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 pH 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:

- pH - 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 отображен на рисунке 1. Редактирование выходной переменной производится аналогично редактированию входных переменных.

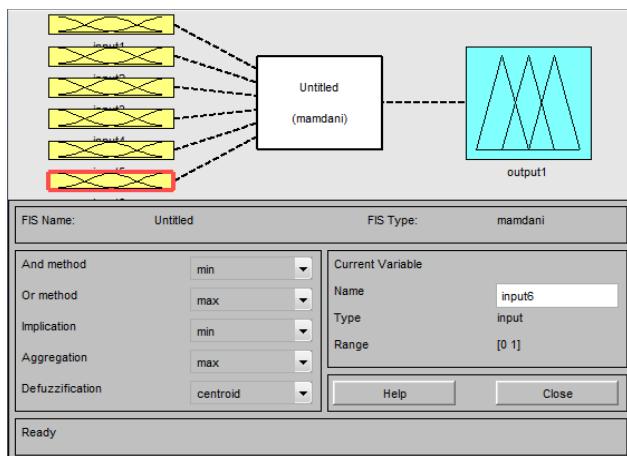


Рис. 1 - Задание входных переменных в систему нечеткого вывода

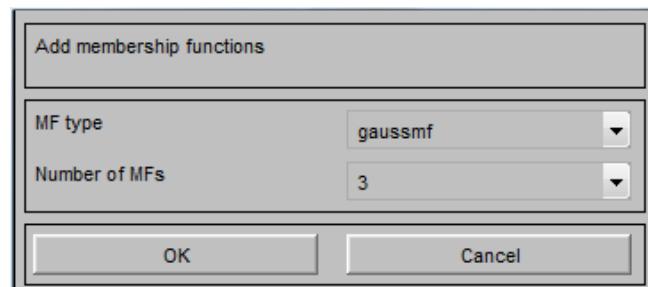


Рис.2- Выбор вида функции принадлежности и их количества

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

- pH - 4-7,5, что соответствует «netral»;
- Влажность - vlajnost - 8 - 11%, что соответствует «sred» 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».

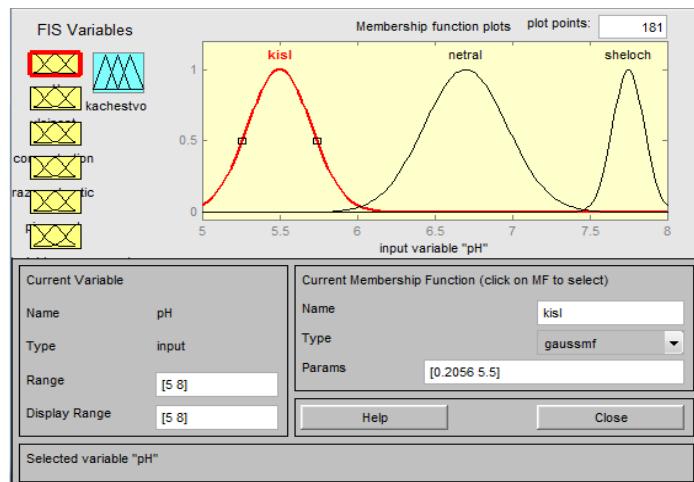


Рис.3 - Задание характеристик входной переменной pH

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 правил позволяет отобразить процесс нечеткого логического вывода и получить результат.

Главное окно средства просмотра состоит из нескольких графических окон, расположенных 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 дефазификации.

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: pH - 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 не благоприятному результату окрашивается в синий цвет.

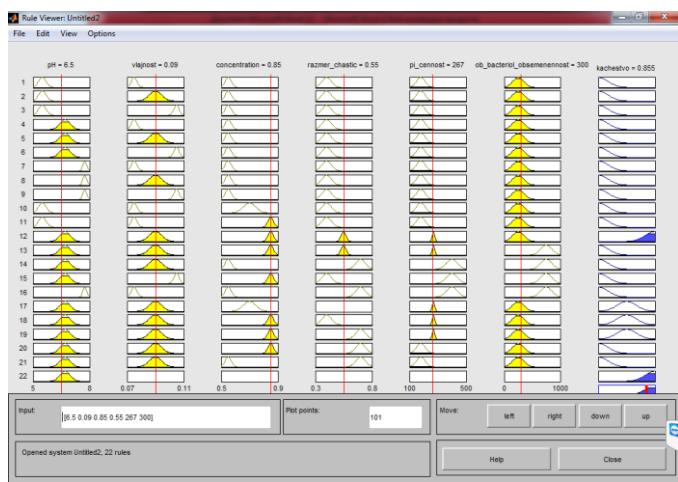


Рис.4 - Средства просмотра правил вывода системы нечеткой логики

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 автором дипломного проекта были проведены практические исследования, подтвердившие эффективность использования данного метода при разработке новых продуктов с заданными качественными характеристиками.

Практические исследования проводились на животных различных пород, возрастных и гендерных категорий, не находящихся 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.

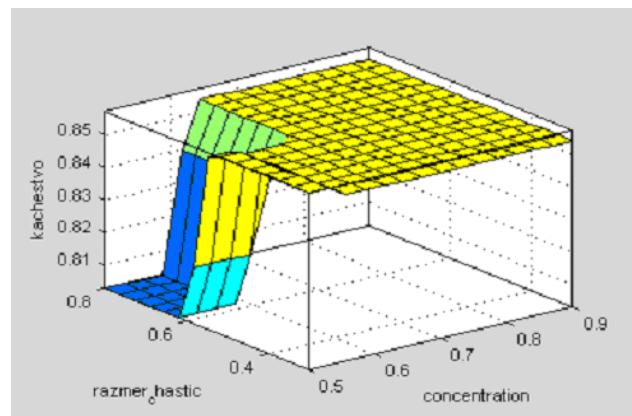
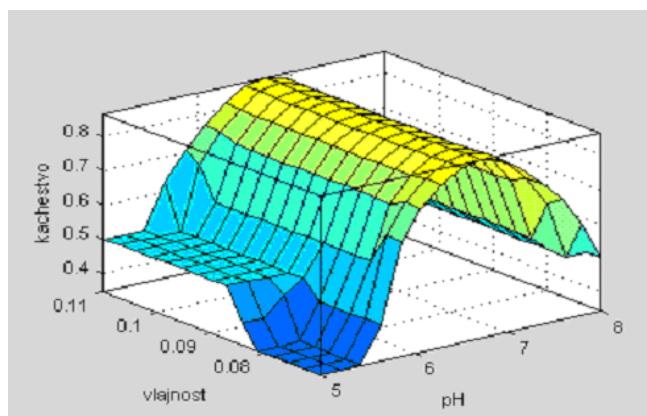


Рис.5 - Зависимость качества от pH и влажности

Рис.6 - Зависимость качества от концентрации

и размера частиц

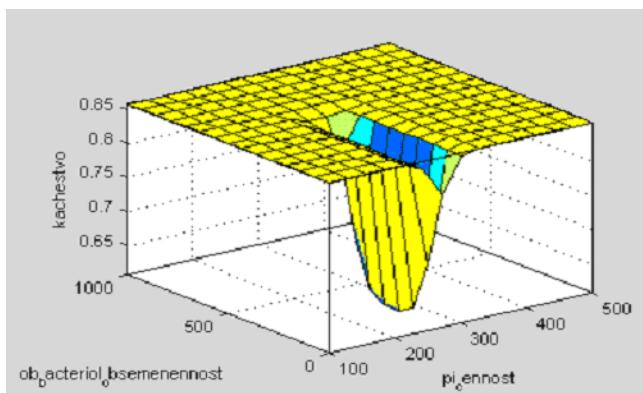


Рис.7 - Зависимость качества от пищевой ценности и биологической обсемененности

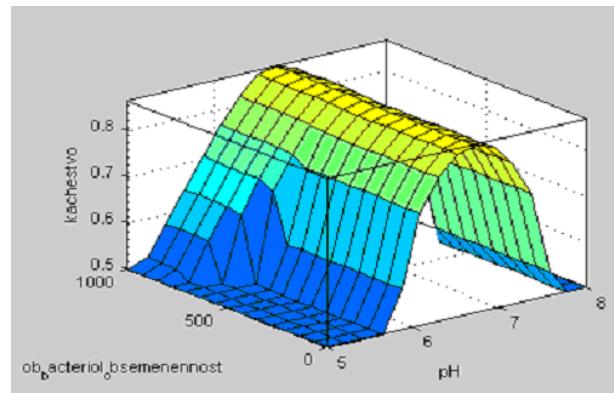


Рис.8 - Зависимость качества от pH и биологической обсемененности

В таблице 1 представлены рецептуры кормов, на диаграммах изображенных на рисунках 9 и 10 отражены результаты эксперимента: зависимость поедаемости корма животным от рецептуры корма и зависимость поедаемости корма от влажности.

Таблица 1 - Рецептуры сухих кормов для непродуктивных животных

| ИНГРЕ- ДИЕНТЫ СМЕСИ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Мясо цып- ленка, % | 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 |

Данный эксперимент подтвердил результаты математического моделирования методами нечеткой логики для входных характеристик концентрация белкового компонента и влажность рецептурной смеси.

Анализ показывал, 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.

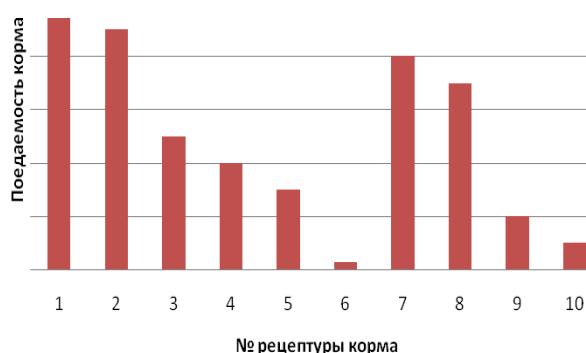


Рис.9 - Поедаемость корма животным в зависимости от рецептуры кормов

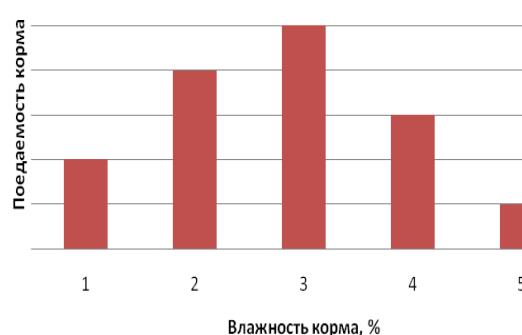


Рис.10 - Поедаемость корма в зависимости от влажности

Таким образом, можно сказать, 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.

Список литературы

1. Алексеев Г.В., Вороненко Б.А., Лукин Н.И. Математические методы в пищевой инженерии. – Санкт-Петербург, ЛАНЬ, 2012, 176 с.
2. Алексеев Г.В., Вороненко Б.А., Гончаров М.В., Холявин И.И. Численные методы при моделировании технологических машин и оборудования. – Санкт-Петербург, ГИОРД, 2014, 200 с.
3. Алексеев Г.В., Даниленко Е.А. Возможности моделирования измельчения пищевых добавок для продуктов функционального питания. // Вестник Международной академии холода. 2011. № 2. С. 16-18
4. Алексеев Г.В., Бриденко И.И. Виртуальный лабораторный практикум по курсу «Механика жидкости и газа». Учебное пособие/ Саратов, 20013.
5. Алексеев Г.В., Верболоз Е.И. Современные подходы к рациональному использованию ресурсов при первичной обработке пищевого сырья. // Вестник Международной академии холода, 2003, №4, с.35-39
6. 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
7. Аксенова О.И. Моделирование ФТС рецептурной смеси с учетом взаимодействия равнозначных компонентов// Сборник трудов III Международной научно-практической конференции «Перспективное развитие науки, техники и технологий». – Курск. 2013. С. 66-71.
8. Аксенова О.И., Шубенкова В.А. Проектирование многокомпонентных продуктов с использованием теории нечетких множеств// Сборник трудов II заочной Международной научно-практической конференции «Техника и технологии: роль в развитии современного общества». – Краснодар. 2013. С. 34-35.

9. Аксенова О.И., Шубенкова В.А. Методы нечеткой логики в моделировании рецептур пищевых продуктов// Сборник трудов Международной научной конференции молодых ученых «Молодежь в науке - 2013». – Минск. 2013. С. 3-4.
10. Аксенова О.И. Использование методов нечеткой логики при моделировании рецептур сухих кормов для домашних животных// Сборник трудов III Международной научно-технической конференции «Энергетика, информатика, инновации - 2013». – Смоленск. 2013. С. 207-211.
11. Аксенова О.И., Шубенкова В.А. Составление рецептурной смеси проектируемых продуктов при неопределенности структурных факторов показателей качества // Сборник трудов Международной научно-технической конференции «Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство». – Воронеж. 2013. С.816-820.
12. Аксенова О.И. Математическое моделирование рецептур кормов для непродуктивных животных, как инновационный метод составления рецептур// Сборник трудов III Международной научно-технической конференции «Современные материалы, техника и технология». – Курск. 2013. С. 20-22.

References

1. Alekseev G.V., Voronenko B.A., Lukin N.I. Mathematical methods in food engineering. – St.Petersburg, LAN", 2012, 176 p.
2. Alekseev G.V., Voronenko B.A., Goncharov M.V., Kholyavin I.I. Numerical methods when modeling technological machines and the equipment. – St.Petersburg, GIORD, 2014. 200 p.
3. Alekseev G.V., Danilenko E.A. Modeling potentialities of pounding food additives for functional nutritional foods. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2011. № 2. p. 16-18
4. Alekseev G.V., Bridenko I.I. Virtual laboratory workshop on the course "Mechanics of Liquid and Gas". Uchebnoe posobie. – Saratov, 2013.
5. Alekseev G.V., Verboloz E.I. Modern approaches to rational use of resources in the primary processing of food raw materials. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*, 2003, №4, p.35-39
6. Alekseev G.V., Aret V.A., Verboloz E.I., Kondratov A.V. Possibility of management of crushing process by change of structurally mechanical properties of food mix. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta nizkotemperaturnykh i pishchevykh tekhnologii*. 2008, №4, p.54-58
7. Aksanova O.I. Modeling of FTS of prescription mix taking into account interaction of equivalent components. The Collection of works III of the International scientific and practical conference "Perspective Development of Science, Equipment and Technologies".

Kursk. 2013. p. 66-71.

8. Aksanova O.I., Shubenkova V.A. Design of multicomponent products with use of the theory of indistinct sets. The Collection of works II of the correspondence International scientific and practical conference "Equipment and technologies: role in development of modern society". Krasnodar. 2013. p. 34-35.

9. Aksanova O.I., Shubenkova V.A. Methods of fuzzy logic in modeling of compoundings of foodstuff. The Collection of works of the International scientific conference of young scientists "Youth in science - 2013". Minsk. 2013. p. 3-4.

10. Aksanova O.I. Use of methods of fuzzy logic when modeling compoundings of dry feeds for pets. The Collection of works III of the International scientific and technical conference "Power, Informatics, Innovations — 2013". Smolensk. 2013. p. 207-211.

11. Aksanova O.I., Shubenkova V.A. Drawing up prescription mix of projected products at uncertainty of structural factors of indicators of quality. The Collection of works of the International scientific and technical conference "Innovative technologies in the food industry: science, education and production". Voronezh. 2013. p.816-820.

12. Aksanova O.I. Mathematical modeling of compoundings of forages for unproductive animals, as an innovative method of drawing up compounding. The Collection of works III of the International scientific and technical conference "Modern Materials, Equipment and Technology". Kursk. 2013. p. 20-22.