

УДК 665.345.4

О. И. Аксенова

## Определение зависимости уровня потребления корма от функционально-технологических показателей рецептурной смеси

В статье рассматривается проблема разработки рецептур кормов для непродуктивных животных в условиях информационной неопределенности, характерной для реальных предприятий, занимающихся выпуском кормов. Анализ литературных источников [1–4] показал, что основные работы посвящены вопросам экструдирования пластмасс и зерновых продуктов при температурных режимах в области 130–200 °С. Этот температурный диапазон не подходит для производства кормов для непродуктивных животных, а исследования, посвященные этой проблеме, практически отсутствуют. Данная работа направлена на выявление зависимости уровня потребления корма непродуктивными животными от функционально-технологических параметров рецептурной смеси, знание которой позволит упростить производителям разработку новых сбалансированных рецептур кормов. Определение этой зависимости проводилось с помощью моделирования методами математической статистики в пакетах Excel и Mathcad, а также методами теории нечетких логических множеств в пакете MatLAB, так как построение полной математической модели затруднено отсутствием явной числовой формы результата, полученного на основании сенсорного анализа. В результате исследования выявлена зависимость уровня потребления корма от функционально-технологических показателей рецептурной смеси для непродуктивных животных, в частности, наиболее высокий уровень потребления корма животными будет достигаться при следующих значениях основных показателей: рН – 6,5; влажность – 9 %; концентрация белковой составляющей 85 %; размер частиц – 0,55 мм; энергетическая ценность – 267 ккал/100 г корма, адекватность данной зависимости для входных переменных – влажность корма и концентрация белковой составляющей – подтверждена экспериментальными исследованиями. Данная работа может быть использована для генерирования оптимального рецептурного состава по функционально-технологическим характеристикам образцов, с целью создания сбалансированных экструдированных кормов.

**Ключевые слова:** метод моделирования, субъективная оценка, эмпирические данные, многокомпонентные пищевые продукты, корма для непродуктивных животных.

### Введение

Как показывает анализ рынка кормов<sup>1</sup>, мировой спрос на данный вид товара стабильно растет последние пять лет. Однако Российская Федерация занимает только седьмое место в списке стран-производителей кормов, за счет чего доля импорта сухих кормов в 2015 г. составила 76 %. В настоящее время Правительством Российской Федерации в Плане мероприятий по содействию импортозамещению в промышленности разработана новая стратегия импортозамещения, в том числе в областях сельского хозяйства и перерабатывающей промышленности. Таким образом, увеличение объема производства, а также совершенствование технологического процесса производства кормов является одним из приоритетных направлений в сложившихся условиях. Российские производители кормов сталкиваются с такими проблемами, вызванными низкой инновационной активностью в отрасли, как низкий уровень развития сырьевой базы (в частности, нестабильный уровень качества мясного сырья и отходов мясных производств), простой оборудования, низкие темпы модернизации, медленное обновление основных производственных фондов, высокая сложность привлечения инвестиций и дефицит собственных средств [5], что в свою очередь усложняет разработку новых рецептур кормов.

Упростить разработку новых рецептур кормов для непродуктивных животных может определение зависимости уровня потребления корма от функционально-технологических показателей рецептурной смеси. При этом выявление зависимости наиболее предпочтительно на основании математического моделирования, которое в отличие от эмпирических методов позволяет сократить сырьевые и временные затраты на простой оборудования и проведение экспериментов. Так как построение полной математической модели затруднено нестабильными качественными и структурными показателями сырья и изменениями физико-химических свойств сырьевых компонентов при взаимодействии в процессе изготовления в постоянно меняющихся условиях производства, моделирование зависимости уровня потребления корма от функционально-технологических показателей рецептурной смеси кормов для непродуктивных животных желательно выполнять на основании теории нечетких логических множеств. Использование такого подхода при моделировании процессов в пищевой промышленности является активно развивающимся направлением. Принятый в работе метод

---

<sup>1</sup> Объем производства кормов вырос на 14 % за пять лет – исследование компании Alltech // Информационное агентство SoyaNews : сайт. URL: [http://soyanews.info/news/obem\\_proizvodstva\\_kormov\\_vyros\\_na\\_14\\_za\\_pyat\\_let\\_-\\_alltech.html](http://soyanews.info/news/obem_proizvodstva_kormov_vyros_na_14_za_pyat_let_-_alltech.html).

моделирования позволяет проводить анализ в условиях субъективной оценки эмпирических данных и отсутствии явной числовой формы результата, что характерно при разработке новых видов пищевых продуктов. Особенно ярко преимущества этих систем проявляются при проектировании зависимостей для многокомпонентных пищевых продуктов (корма для животных относятся к этой категории), где велика неопределенность входных и выходных параметров, а качество оценивается по результатам сенсорного анализа. Дополнительным достоинством данного метода построения модели является возможность ее получения при выборе минимального набора гипотетических закономерностей. Вследствие отсутствия необходимости ввода точных данных время, требуемое для моделирования, резко сокращается [6; 7].

На основании проведенного анализа известных работ [8; 9] сделан вывод, что рецептуры большинства экструдированных кормов для непродуктивных животных, выпускаемых в настоящее время в нашей стране, не являются сбалансированными, так как отличаются низкой энергетической ценностью, которая может привести к потере веса и пониженному содержанию белка, являющимся причиной катаболизма и снижения индекса мышечной массы тела у домашних животных. Поэтому выявление зависимости уровня потребления корма непродуктивными животными от функционально-технологических показателей рецептурной смеси для дальнейшей разработки рецептуры сбалансированного экструдированного корма для непродуктивных животных является актуальной задачей.

Цель работы: определить зависимость уровня потребления корма непродуктивными животными от функционально-технологических показателей рецептурной смеси.

Достижение цели возможно при выполнении следующих задач:

- разработать математическую модель зависимости уровня потребления корма от функционально-технологических показателей рецептурной смеси методами математической статистики;
- уточнить математическую модель зависимости уровня потребления корма от функционально-технологических параметров рецептурной смеси на основании теории нечетких логических множеств;
- провести экспериментальное исследование для выявления эмпирической зависимости уровня потребления корма непродуктивными животными от влажности корма и его рецептуры;
- сравнить, согласуются ли данные результаты экспериментального исследования с полученными математическими моделями зависимости уровня потребления корма от функционально-технологических показателей рецептурной смеси.

## Материалы и методы

Для определения зависимости уровня потребления корма непродуктивными животными от его рецептуры и влажности провели экспериментальное исследование, в котором были задействованы 75 непродуктивных животных различных пород, гендерных и возрастных категорий, длительное время находящихся на вскармливании кормами промышленного производства.

В ходе эксперимента составлены и исследованы рецептурные смеси для производства сухого сбалансированного кошачьего корма супер-премиум класса, отличающиеся от рецептур производимых в нашей стране кормов высокой энергетической ценностью и достаточным содержанием белка, которое обеспечивалось наличием в составе корма мяса цыпленка, меланжа сухого и молока цельного сухого. Исходные процентные соотношения ингредиентов рецептурной смеси определены на основании анализа литературных источников. В табл. 1 представлены исследуемые рецептуры кормов и функционально-технологические показатели соответствующих им рецептурных смесей<sup>2</sup>. В процессе эксперимента образцы кормов получали на сконструированном самостоятельно лабораторном одношнековом экструдере, представленном на рис. 1.

Таблица 1. Рецептуры сухих сбалансированных кормов для непродуктивных животных  
Table 1. Formulations of balanced dry pet food

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

<sup>2</sup> Ветеринарно-санитарные нормы и требования к качеству кормов для непродуктивных животных : утв. Департаментом ветеринарии М-ва сельского хозяйства и продовольствия Рос. Федерации 15 июля 1997 г. № 13-7-2/1010 // Россельхознадзор : офиц. сайт. URL: <http://www.fsvps.ru/fsvps/laws/166.html> ; ГОСТ Р 54954–2012. Корма и кормовые добавки для непродуктивных животных. Термины и определения. М., 2013. 3 с.

Функционально-технологические показатели смеси										
рН смеси	6,0	6,3	6,7	6,2	6,9	6,2	5,5	6,3	8	7,5
Влажность, %	9	13	10	11	5	7	8	8	6	10
Содержание белка, г	19,4	21,1	25,4	20,8	17,2	24	8,6	28,1	7,0	10,2
Энергетическая ценность, ккал/100 г смеси	267	253	293	274	476	327	306	312	381	334

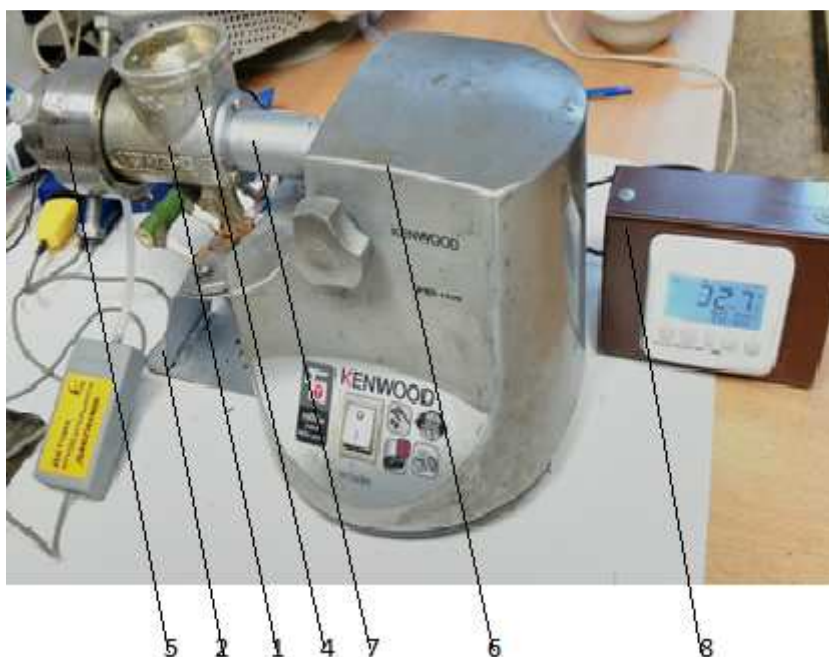


Рис. 1. Лабораторный экструдер  
Fig. 1. Laboratory extruder

Экструдирование смеси проходило при небольшом избыточном давлении 149 кПа, температуре 60 °С и частоте вращения шнека – 4 об/мин. Измерение давления, температуры смеси на выходе и частоты вращения шнека осуществлялось с помощью соответствующих датчиков и специализированного интерфейса программы L-физика для вывода аналоговых сигналов датчиков на компьютер (рис. 2).

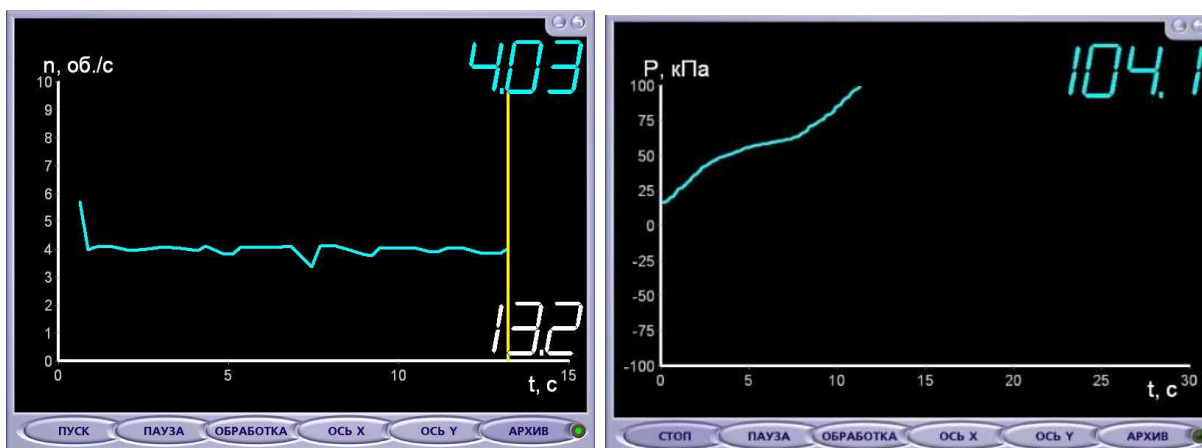


Рис. 2. Измерение частоты вращения шнека и давления экструдирования продукта  
Fig. 2. Measurement of screw speed and extrusion pressure product

Влажность кормовых смесей исследуемых рецептур оценена методом высушивания<sup>3</sup>.

Уровень потребления корма животными оценивался на протяжении 1 недели, при полной замене обычного рациона животных экспериментальными образцами. Оценивались количество съеденного корма и скорость его употребления по шкале в процентах группой наблюдателей.

<sup>3</sup> ГОСТ 9793–74. Продукты мясные. Методы определения влаги. М., 2013. 7 с.

На диаграммах (рис. 3 и 4) по результатам эксперимента отражены зависимость уровня потребления корма непродуктивными животными от рецептуры корма и его влажности.

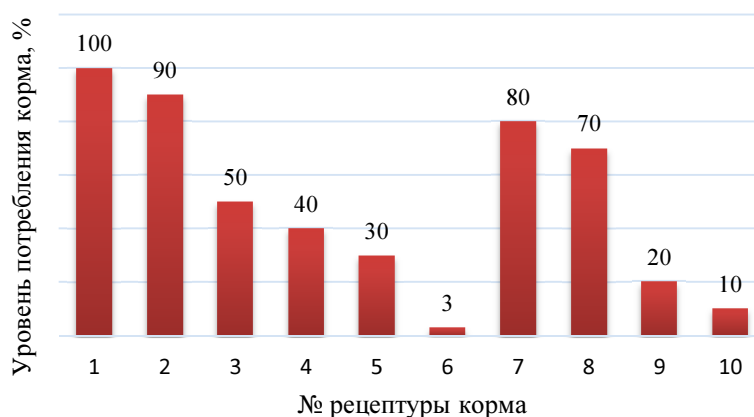


Рис. 3. Зависимость уровня потребления корма животным от № рецептуры корма  
Fig. 3. The dependence of the animal feed consumption on feed formulation number

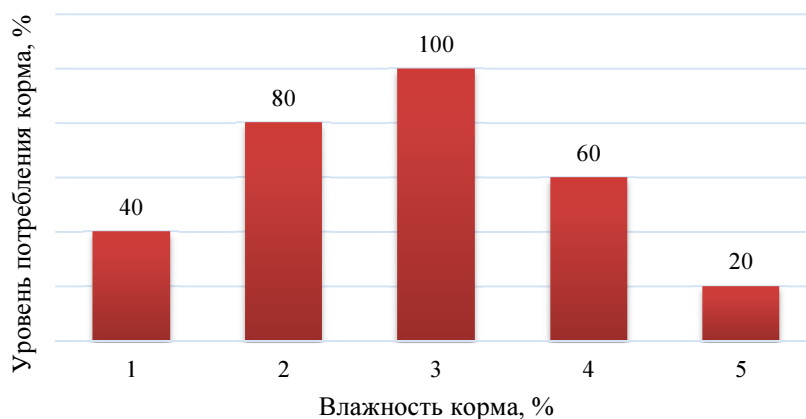


Рис. 4. Зависимость уровня потребления корма животным от влажности  
Fig. 4. The dependence of animal feed consumption on humidity

Таким образом, экспериментальное исследование показало, что наибольший уровень потребления корма непродуктивными животными у корма рецептуры № 1, влажность которого составила 9 %. Как было отмечено ранее, данный образец корма обладает сбалансированной рецептурой с широким сырьевым диапазоном. Корм с рецептурой № 1 имеет оптимальную энергетическую ценность 267 ккал/100 г корма, способную покрыть суточные энергетические затраты (258 ккал) среднестатистического животного (с весом 2,5 кг, в возрасте от 1 года до 7 лет) рекомендуемой суточной нормой потребления корма (70 г), а также не содержит избытка калоража, что могло бы привести к возникновению лишнего веса у животного. Содержание белка в корме данной рецептуры (19,4 г) обеспечивает не только нормальный азотистый баланс в организме кошки, но и позволяет поддерживать стабильный индекс мышечной массы тела животного (для которого требуется в 3,5 раза больше белка); это требование не соблюдается в настоящий момент большинством российских производителей кормов.

Предварительно исследование уровня потребления получаемого продукта от функционально-технологических свойств рецептурной смеси проводили методами математической статистики.

### Результаты и обсуждение

Построенная методами математической статистики модель отражает зависимость уровня потребления корма животными ( $y$ ) от pH среды корма ( $x_1$ ), влажности готового корма ( $x_2$ ) и концентрации белковых компонентов рецептурной смеси корма ( $x_3$ ).

Построение системы показателей, базирующихся на литературных данных, проводилось в пакете Excel.

Статистические данные по переменным приведены в табл. 2.

Таблица 2. Статистические данные математической модели  
Table 2. Statistical data of the mathematical model

$y$	$x_1$	$x_2$	$x_3$
0,2	7,5	12	55
0,5	6,06	14	65
0,8	6,26	18	77
0,1	6,29	13	53
0,7	6,2	10	65
0,6	6,27	11	65
0,4	6,14	8	55
0,3	6,21	13,5	58
1	6,11	14,5	70
0,9	6,23	18	90

Из матрицы коэффициентов парной корреляции (табл. 3) следует, что уровень потребления корма животными имеет наиболее тесную связь с концентрацией белковых компонентов рецептурной смеси, а влияние влажности готового корма и pH среды рецептурной смеси менее существенно. Взаимного влияния рассматриваемых факторов не выявлено, слабых связей факторов математической модели на уровень потребления корма – также, поэтому все факторы учитывались при построении математической модели.

Таблица 3. Корреляционная матрица  
Table 3. The correlation matrix

	$y$	$x_1$	$x_2$	$x_3$
$y$	1			
$x_1$	-0,43257	1		
$x_2$	0,46462	-0,10071	1	
$x_3$	0,835957	-0,29847	0,751556	1

Выполнив регрессионный и дисперсионный анализ экспериментальных данных, получили зависимости, отраженные в табл. 4.

Таблица 4. Результаты регрессионного и дисперсионного анализа  
Table 4. Results of regression and variance analysis

Регрессионная статистика	
Множественный $R$	0,884119
$R$ -квадрат	0,781667
Нормированный $R$ -квадрат	0,6725
Стандартная ошибка	0,173265
Наблюдения	10

Дисперсионный анализ				
	$df$	$SS$	$MS$	$F$
Регрессия	3	0,644875	0,214958	7,160309
Остаток	6	0,180125	0,030021	
Итого	9	0,825		

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	$t$ -статистика	$P$ -значение
$y$ -пересечение	-0,1109	1,092108	-0,10155	0,922424
$x_1$	-0,11278	0,147403	-0,76509	0,473227
$x_2$	-0,0314	0,027912	-1,12496	0,303585
$x_3$	0,027395	0,008108	3,37887	0,014879

Для составления уравнения регрессии использовали полученные в табл. 4 коэффициенты. Таким образом, уравнение регрессии зависимости уровня потребления корма животными от pH среды и влажности корма, концентрации белковых компонентов, имеет вид:

$$y = -0,111 - 0,113x_1 - 0,031x_2 + 0,027x_3. \quad (1)$$

Проверка значения критерия Фишера для доверительной вероятности 95 % и степеней свободы числителя и знаменателя соответственно 3 и 6 свидетельствует о неадекватности модели, поскольку расчетное значение не превышает табличное (табл. 4), равное 8,76 [10].

Так как в соответствии с критерием Фишера полученная линейная зависимость (1) не удовлетворяет условию адекватности модели, переходим к более сложной зависимости квадратичного вида, отбросив одну из входных переменных, имеющую наименее тесную связь с выходной переменной. Из анализа корреляционной матрицы (табл. 3) следует, что уровень потребления корма ( $y$ ) наиболее тесно связан с входными переменными – влажность корма ( $x_2$ ) и концентрация белковой составляющей ( $x_3$ ), и наименее тесно связан с рН среды корма ( $x_1$ ).

Новое уравнение регрессии, составленное для факторов – влажность корма ( $x_2$ ) и концентрация белковой составляющей ( $x_3$ ) – при помощи пакета MatCAD (2) и (3), выглядит следующим образом (4):

$$I := \text{COrder}(\text{Nvars}, \text{deg}) \text{ coeffs} := \text{submatrix}(R, 3, \text{rows} \text{ @ } -1, 0, 0)$$

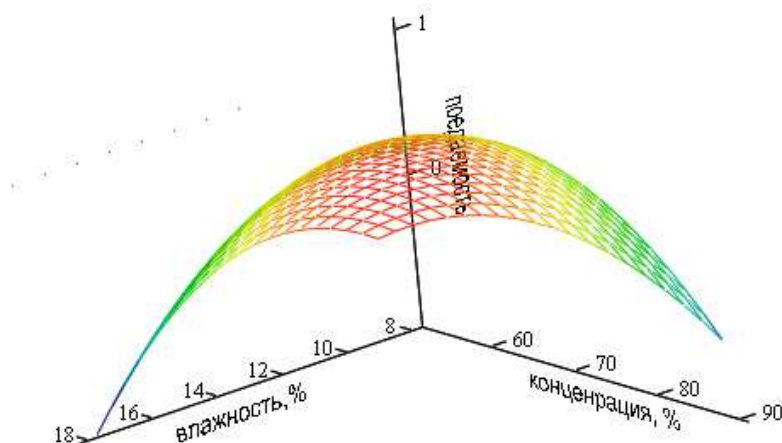
или

$$I = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 2 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 2 & 0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\text{coeffs} = \begin{pmatrix} 7.183 \times 10^{-3} \\ -1.561 \times 10^{-3} \\ 0.147 \\ -4.79 \\ -0.04 \\ -0.018 \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$y = -0,018 x_2^2 - 0,04 x_2 - 1,561 \cdot 10^{-3} x_3^2 + 0,147 x_3 + 7,183 \cdot 10^{-3} x_3 x_2 - 4,79. \quad (4)$$

Построенную зависимость уровня потребления корма от влажности готового продукта и концентрации белковых компонентов представим графически. Из графика зависимости, представленного на рис. 5, видно, что функция имеет экстремум.



$$F(X, Y, Z)$$

Рис. 5. Функция зависимости уровня потребления корма от влажности и концентрации белковой составляющей

Fig. 5. Function of dependence of the consumption level on humidity and the concentration of the protein component

Воспользовавшись критерием Сильвестра, найдем критические точки и экстремум функции для  $x$  – концентрации белковых компонентов (6) и  $y$  – влажности рецептурной смеси (5):

$$d/dy(0,147x - 0,00156x^2 + 0,007183xy - 0,00y - 0,018y^2 - 4,79) = 0; \quad (5)$$

$$d/dx(0,147x - 0,00156x^2 + 0,007183xy - 0,00y - 0,018y^2 - 4,79) = 0. \quad (6)$$

Представляя полученные уравнения в матричном виде:

$$M := \begin{pmatrix} -0.00312 & 0.007183 \\ 0.007183 & -0.036 \end{pmatrix} \quad v := \begin{pmatrix} -0.147 \\ 0.04 \end{pmatrix} \quad (7)$$

в MatCAD и учитывая соответствующие матрицы, получим следующее решение:

$$Isolve(M, v) = \begin{pmatrix} 82.416 \\ 15.333 \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Из (8) можно сделать вывод о том, что наиболее высокий уровень потребления корма достигается при концентрации белковых компонентов 82,4 % и влажности 15 %.

Для проверки корректности полученных результатов и уточнения модели решено провести повторное моделирование другим методом, увеличив при этом количество входных переменных модели с целью получения более точного результата.

Входными переменными для моделирования на основании анализа<sup>4</sup> выбраны следующие параметры (с указанием диапазона изменений):

- рН 5–8;
- влажность 7–11 %;
- концентрация белковой составляющей 50–90 %;
- размер частиц 0,3–0,8 мм;
- энергетическая ценность 100–500 ккал/100 г;
- общая биологическая обсемененность 0–1 000 клеток в 1 г корма;
- выходной переменной является уровень потребления корма.

Диапазоны варьирования переменных, входящих в математическую модель, построенную методами математической статистики – рН среды ( $x_1$ ) и влажность ( $x_2$ ), были уточнены. Диапазон варьирования показателя рН среды расширен, так как данный показатель во многом зависит от процентного соотношения рецептурных ингредиентов смеси и может значительно отличаться для кормов различных составов в пределах, соответствующих пограничным значениям рН (с самым высоким и самым низким показателем) компонентов рецептурной смеси. Диапазон варьирования переменной "влажность" был сужен на основании анализа производственных и ветеринарных стандартов<sup>5</sup> требования ассоциации AFCC, так как понижение влажности ниже 7 % может привести к заболеваниям пищеварительной и мочевыделительной систем животных и потере органолептических свойств корма, а превышение влажности более 11 % ведет к ухудшению санитарного состояния кормов за счет увеличения риска развития плесеней в готовом продукте. Диапазон варьирования переменной "концентрация белковой составляющей" оставлен без изменения, так как анализ литературных источников<sup>6</sup> показал, что концентрация белкового компонента должна находиться на уровне 50–90 %, уменьшение доли белка ведет к снижению пищевой и энергетической ценности кормов и уменьшению привлекательности корма для животного, а увеличение доли белка ведет к излишним экономическим затратам и дисбалансу рациона питания.

Для моделирования методами нечеткого логического вывода функция представляется в виде базы знаний, представленных в виде тождеств и задающих связь входных переменных с выходной. В данной работе база знаний содержит 21 правило.

Результат моделирования в пакете MatLAB отображается в трехмерной графической модели с разноокрашенной поверхностью вывода, показывающей зависимость выходной переменной от двух входных. Поверхность вывода, соответствующая благоприятному результату, окрашивается в желтый цвет, а неблагоприятному – в синий, градиентный переход от желтого к синему соответствует среднему значению (рис. 6–9).

<sup>4</sup> Ветеринарно-санитарные нормы и требования к качеству кормов для непродуктивных животных : утв. Департаментом ветеринарии М-ва сельского хозяйства и продовольствия Рос. Федерации 15 июля 1997 г. № 13-7-2/1010 // Россельхознадзор : офиц. сайт. URL: <http://www.fsvps.ru/fsvps/laws/166.html> ; ГОСТ Р 54954–2012. Корма и кормовые добавки для непродуктивных животных. Термины и определения. М., 2013. 3 с.

<sup>5</sup> Там же.

<sup>6</sup> Там же.

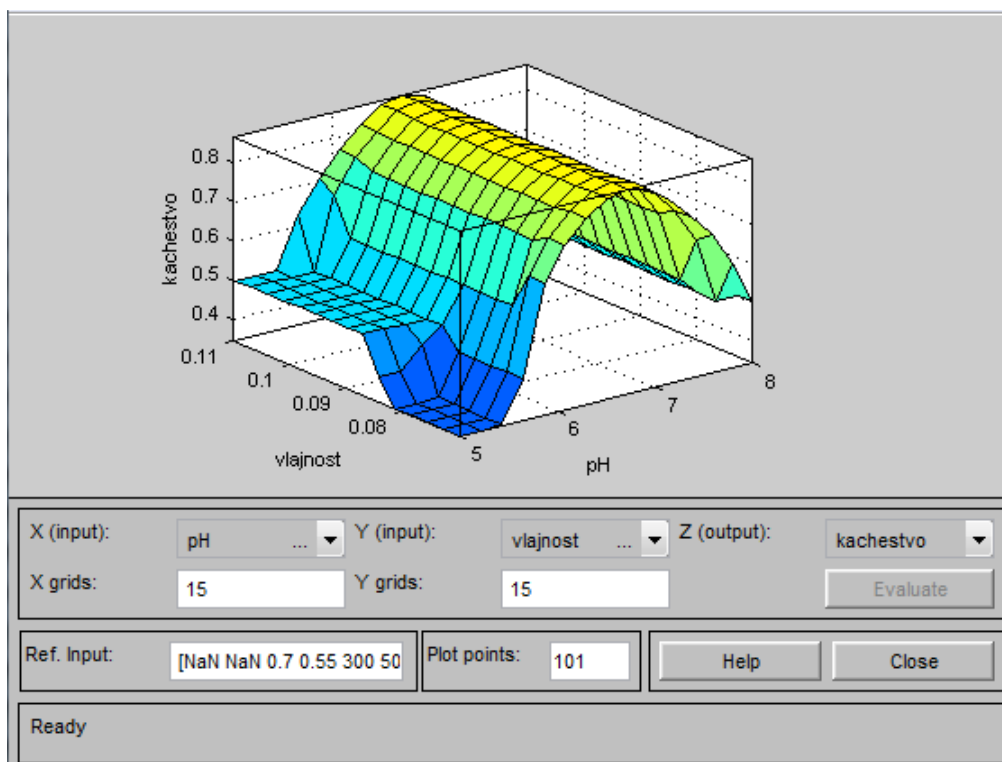


Рис. 6. Окно средства просмотра правил вывода нечеткой системы (зависимость уровня потребления от pH и влажности)  
Fig. 6. Viewer Window inference rules of the fuzzy system (dependence of the consumption level on pH and humidity)

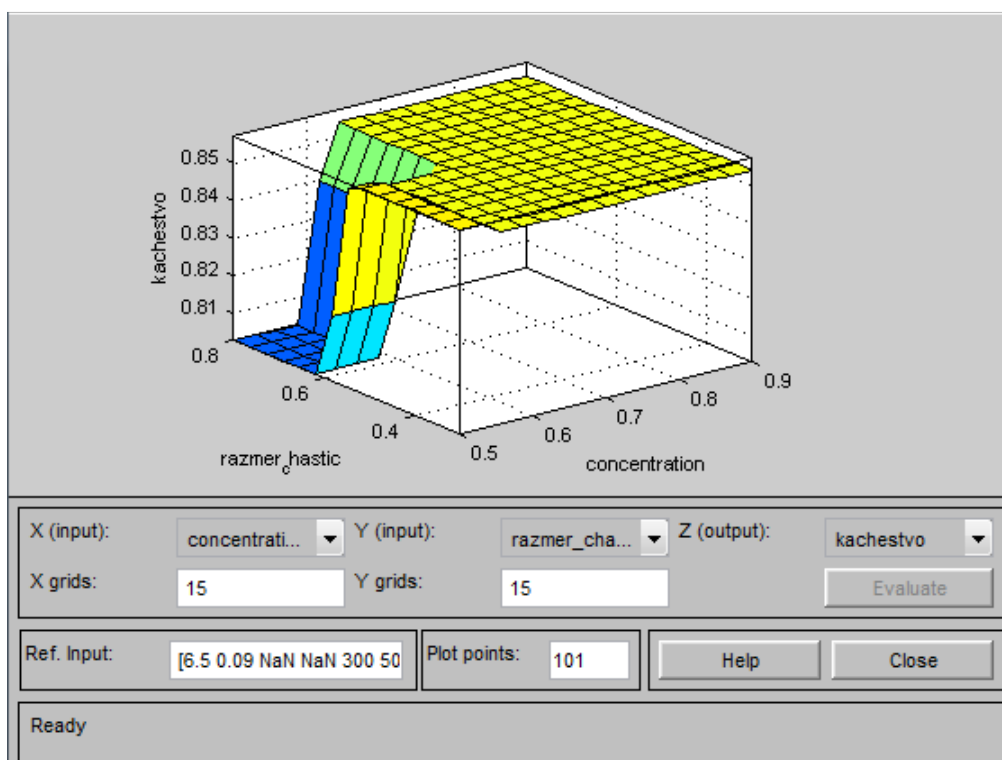


Рис. 7. Окно средства просмотра правил вывода нечеткой системы (зависимость уровня потребления от концентрации и размера частиц)  
Fig. 7. Viewer Window inference rules of the fuzzy system (dependence of the consumption level on the concentration and particle size)



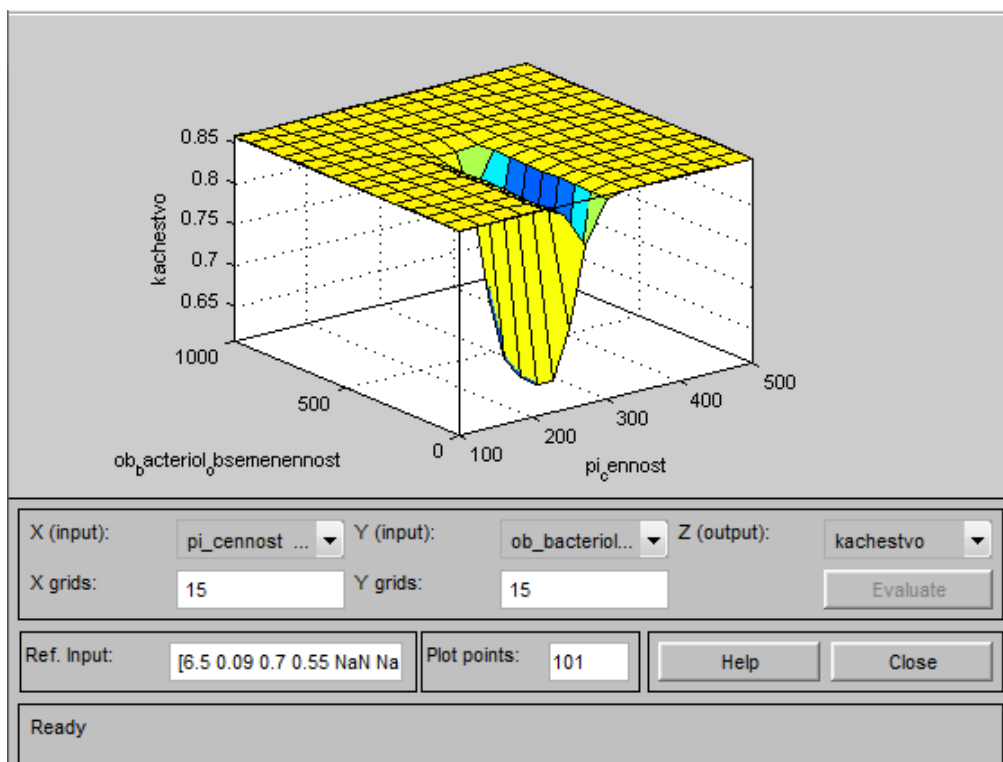


Рис. 8. Окно средства просмотра правил вывода нечеткой системы (зависимость уровня потребления от энергетической ценности и общей биологической обсемененности)  
 Fig. 8. Window Viewer inference rules of the fuzzy system (dependence of the consumption level on energy value and total biological contamination)

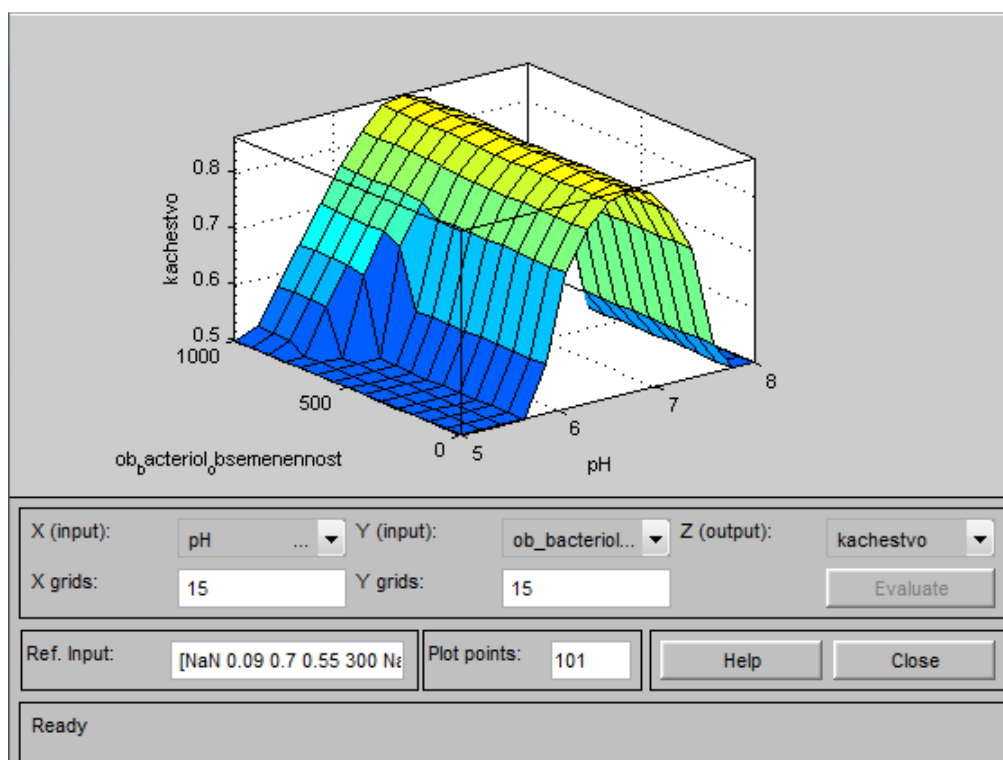


Рис. 9. Окно средства просмотра правил вывода нечеткой системы (зависимость уровня потребления от pH и общей биологической обсемененности)  
 Fig. 9. Viewer Window inference rules of the fuzzy system (dependence of the consumption level on pH and total biological contamination)

В результате моделирования на основании нечетких логических множеств было доказано, что наиболее высокий уровень потребления корма животными достигается при следующих значениях основных параметров: pH – 6,5; влажность – 9 %; концентрация белковой составляющей 85 %; размер частиц – 0,55 мм; энергетическая ценность – 267 ккал/100 г корма.

### **Заключение**

1. Анализируя полученные в работе результаты, можно сказать, что моделирование на основании нечетких логических множеств позволяет уточнить функционально-технологические характеристики разрабатываемых многокомпонентных видов сухих кормов при проектировании сбалансированных новых кормов. В частности, доказано, что наиболее высокий уровень потребления корма животными достигается при влажности 9 % и концентрации белковых составляющих 85 %, что близко к результатам, полученным на основании математической статистики – влажности 15 % и концентрации белковых составляющих 82 %. Уточнение результатов по влажности модели на основании нечетких логических множеств можно объяснить тем, что построенная методами математической статистики модель не учитывает влияния более широкого ряда других характеристик.

2. Достоверность и обоснованность полученных результатов определяются корректным применением аппарата нечетких логических множеств и методов математической статистики, а выводы и предложения не противоречат известным практическим результатам, содержащимся в трудах специалистов по вопросам математического моделирования зависимостей.

3. Данные результаты математического моделирования методами нечеткой логики и математической статистики подтверждают результаты эксперимента для входных характеристик по концентрации белкового компонента и влажности рецептурной смеси.

4. На основании полученных результатов теоретического и практического исследования создан сбалансированный натуральный экструдированный корм для непродуктивных животных и разработан способ его производства (подана заявка на патент изобретение "Натуральный экструдированный корм для кошек и способ его производства" № 2015123176 от 08.06.2015). Данный сбалансированный корм, соответствующий рецептуре № 1, обладает достаточной энергетической ценностью, чтобы покрыть энергетические затраты среднестатистического животного рекомендуемой суточной нормой потребления, а также содержит достаточное количество белка для обеспечения полноценной жизни животного.

### **Библиографический список**

1. Stone H., Sidel J. I. Sensory elution practices. New York : Academic Press, 2003.
2. Robin F., Dautremont C., Chanvrier H. Winning consumer preference via extrusion cooking of nutritious cereals / Nestlé Product Technology Center // Newfood. 2014. N 47. P. 16–24.
3. Extrusion cooking of starch / L. Moscicki, M. Mitrus, A. Wojtowicz, T. Oniszczyk, A. Rejak // Agricultural and Biological Sciences. Advances in Agrophysical Research. Lublin : Department of Food Process Engineering, Lublin University of Life Sciences, 2013. 23 p.
4. Абрамов О. В. Научное обеспечение процесса экструзии модельных сред на основе крахмалсодержащего сырья и разработка высокоэффективного оборудования для его реализации : дис. ... д-ра техн. наук. Воронеж, 2009. 600 с.
5. Аксенова О. И., Пальчиков А. Н. Технические средства для получения полуфабрикатов корпуса и начинки для экструдированных пищевых продуктов. Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2015. № 2 (64). С. 35–43.
6. Аксенова О. И., Алексеев Г. В. Использование математического моделирования для ресурсосберегающих пищевых производств // Научный журнал НИУ ИТМО. Сер. Процессы и аппараты пищевых производств. 2014. № 3. С. 1–10.
7. Аксенова О. И., Алексеев Г. В., Холявин И. И. Использование математического моделирования для оценки экономической эффективности в реальном секторе экономики // Журнал правовых и экономических исследований. 2014. № 3. С. 156–162.
8. Рудой Д. В. Исследование технологического процесса и определения рациональных параметров шнекового экструдера для производства комбикормов : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ростов н/Д, 2015. 20 с.
9. Мишанин А. Л. Повышение эффективности приготовления экструдированного корма с обоснованием параметров матрицы пресс-экструдера : дис. ... канд. техн. наук. Пенза, 2010. 158 с.
10. Алексеев Г. В., Вороненко Б. А., Головацкий В. А. Аналитическое исследование процесса импульсного (дискретного) теплового воздействия на перерабатываемое пищевое сырье // Новые технологии. 2012. № 2. С. 11–15.

## References

1. Stone H., Sidel J. I. Sensory elution practices. New York : Academic Press, 2003.
2. Robin F., Dautremont C., Chanvrier H. Winning consumer preference via extrusion cooking of nutritious cereals / Nestlé Product Technology Center // Newfood. 2014. N 47. P. 16–24.
3. Extrusion cooking of starch / L. Moscicki, M. Mitrus, A. Wojtowicz, T. Oniszczyk, A. Rejak // Agricultural and Biological Sciences. Advances in Agrophysical Research. Lublin : Department of Food Process Engineering, Lublin University of Life Sciences, 2013. 23 p.
4. Abramov O. V. Nauchnoe obespechenie protsessa ekstruzii modelnyh sred na osnove krahmalsoderzhashego syrya i razrabotka vysokoeffektivnogo oborudovaniya dlya ego realizatsii [Scientific support of the extrusion process modeling environments based on starch raw materials and the development of high-efficiency equipment for its realization] : dis. ... d-ra tehn. nauk. Voronezh, 2009. 600 p.
5. Akseanova O. I., Palchikov A. N. Tehnicheskie sredstva dlya polucheniya polufabrikatov korpusa i nachinki dlya ekstrudirovannyh pischevyh produktov [Technical means for receiving housing and semi-finished stuffing for extruded foods]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernyh tehnologiy. 2015. N 2 (64). P. 35–43.
6. Akseanova O. I., Alekseev G. V. Ispolzovanie matematicheskogo modelirovaniya dlya resursosberegayuschih pischevyh proizvodstv [Using mathematical modeling for resource food production] // Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Ser. Protsessy i apparaty pischevyh proizvodstv. 2014. N 3. P. 1–10.
7. Akseanova O. I., Alekseev G. V., Holyavin I. I. Ispolzovanie matematicheskogo modelirovaniya dlya otsenki ekonomicheskoy effektivnosti v realnom sektore ekonomiki [Use of mathematical modeling to assess the economic efficiency of the real economy] // Zhurnal pravovyh i ekonomicheskikh issledovaniy. 2014. N 3. P. 156–162.
8. Rudoy D. V. Issledovanie tehnologicheskogo protsessa i opredeleniya ratsionalnyh parametrov shnekovogo ekstrudera dlya proizvodstva kombikormov [The research process and the definition of rational parameters of a screw extruder for the production of compound feeds] : avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk. Rostov n/D, 2015. 20 p.
9. Mishanin A. L. Povyshenie effektivnosti prigotovleniya ekstrudirovannogo korma s obosnovaniem parametrov matritsy press-ekstrudera [Improving the efficiency of preparation of an extruded feed with substantiation of parameters of the matrix press extruder] : dis. ... kand. tehn. nauk. Penza, 2010. 158 p.
10. Alekseev G. V., Voronenko B. A., Golovatskiy V. A. Analiticheskoe issledovanie protsessa impulsnogo (diskretnogo) teplovogo vozdeystviya na pererabatyvaemoe pischevoe syre [Analytical study of the process of pulse (digital) exposure to heat in processing food raw materials] // Novye tehnologii. 2012. N 2. P. 11–15.

## Сведения об авторе

**Аксенова Ольга Игоревна** – Кронверкский пр., 49, г. Санкт-Петербург, Россия, 197101; Санкт-Петербургский государственный национальный исследовательский университет информационных технологий механики и оптики, аспирант; e-mail: oks280491@yandex.ru

**Akseanova O. I.** – 49, Kronverksky Avenue, St. Petersburg, Russia, 197101; Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Ph.D. Student; e-mail: oks280491@yandex.ru

O. I. Aksenova

## **Determination of dependence of feed intake level on functional and technological parameters of prescription mixture**

The problem of the development of pet food formulations in the conditions of information uncertainty which is characteristic of an actual business enterprise engaged in production of feed has been considered in the paper. The analysis of the literature [1–4] has shown that the main works are devoted to the extrusion of plastics and cereal products, with the temperature conditions equal to 130–200 °C. This temperature range is not suitable for the production of pet food, and researches on this issue are virtually absent. This study is devoted to defining the functional and technological parameters of prescription mixture depending on the level of feed intake by unproductive animals; this knowledge will allow manufacturers to simplify the development of new formulations of balanced feed. Identification of this relationship has been carried out on the basis of modeling methods of mathematical statistics in Excel and Mathcad packages, as well as on the basis of fuzzy logic set theory in MatLAB package, as the construction of a complete mathematical model is complicated by absence of an explicit numerical form of the result received on the basis of sensory analysis. The research has revealed the dependence of feed intake level on functional and technological parameters of prescription mix for non-productive animals, in particular, the highest level of animal feed intake will be achieved at the following values of the main parameters: pH – 6.5; the moisture – 9 %; the protein concentration – 85 %; the particle size – 0.55 mm; the energy value – 267 kcal/100 g feed. The adequacy of the dependence for the input variables – the moisture feed and concentration of the protein component – is confirmed by the experimental investigations. This paper can be used to generate the optimal prescription composition for functional and technological characteristics of the samples in order to create balanced extruded feeds.

**Key words:** simulation method, subjective assessment, empirical data, multi-component food products, pet food.