

УДК 636.087.6

*Л.А. Чернявская, О.В. Дымар, к.т.н., доцент
Институт мясо-молочной промышленности, Минск, Республика Беларусь*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕЦЕПТУР ПОЛНОРАЦИОННЫХ ЭКСТРУДИРОВАННЫХ СУХИХ КОРМОВ ДЛЯ СОБАК С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

(Поступила в редакцию 30 марта 2016 г.)

В статье представлена разработанная обобщенная математическая модель рецептуры полнорационного экструдированного сухого корма для собак, решение которой автоматизировано, что позволило интенсифицировать процесс проектирования рецептур и получить продукт, полностью удовлетворяющий потребности собак крупных пород в питательных веществах.

Ключевые слова: корм сухой экструдированный, собаки, моделирование рецептуры.

Введение. Собаки для поддержания здоровья и жизнедеятельности нуждаются в сбалансированном рационе, который может быть определен как смесь ингредиентов, обеспечивающих потребление энергетических и незаменимых питательных веществ [1, 2]. Сбалансированный рацион должен сочетать высокие вкусовые качества и адекватное содержание всех необходимых питательных веществ [3]. Чем разнообразнее рацион, тем он полноценнее и более охотно поедается животными.

При составлении рациона необходимо рассчитать требуемое количество белка, жира, кальция, фосфора, витаминов А и В₁ (тиамина). Считается, что при поступлении этих веществ в достаточном количестве других необходимых элементов также достаточно [4].

Сложность проектирования рецептур полнорационных экструдированных сухих кормов для собак заключается в том, что данный продукт содержит большое количество ингредиентов (более 10). Поэтому расчет рецептур, без использования современных технологий, требует значительных затрат времени.

Цель работы – разработка обобщенной математической модели рецептуры полнорационного экструдированного сухого корма для собак (далее корма), а также проектирование рецептуры корма для собак крупных пород.

Методология и проектирование рецептур.

В основе разработки рецептур кормов для собак лежат нормируемые показатели качества, характерные для определенного вида животного.

Процесс создания рецептуры можно представить в виде математической модели, которая в общем виде описывается системой математических зависимостей:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n X_i = 100 \\ \sum_{i=1}^n X_i \cdot A_{1-i} \cdot CB_H \leq (\geq) 100 \cdot A_{1-p} \cdot CB \\ \dots \\ \sum_{i=1}^n X_i \cdot A_{k-i} \cdot CB_H \leq (\geq) 100 \cdot A_{k-p} \cdot CB \\ X_i \geq (\leq) M_i \\ \frac{A_{Ca}}{A_p} = l \end{array} \right.$$

Где X_i – проектируемые массовые доли каждого из компонентов рецептуры, %;

n – количество компонентов;

k – количество критериев качества, выраженных через математическую зависимость уравнений материального баланса;

A_{1-i} – массовая доля первого критерия качества в каждом из компонентов, %;

A_{k-i} – массовая доля k -ого критерия качества в каждом из компонентов, %;

A_{1-p} – массовая доля первого критерия качества в готовом продукте, %;

A_{k-p} – массовая доля k -ого критерия качества в готовом продукте, %;

CB_H – нормативное содержание сухих веществ в готовом продукте, %;

CB – содержание сухих веществ согласно расчету по рецептуре, %;

M_i – ограничение по содержанию отдельных компонентов рецептуры, %;

l – соотношение кальция и фосфора в готовом продукте;

A_{Ca} – массовая доля кальция в готовом продукте, %;

A_p – массовая доля фосфора в готовом продукте, %. Первое уравнение

описывает условие постоянной суммы веса всех составляющих компонентов рецептуры.

Вторая и последующие математические зависимости представляют собой уравнения материального баланса. Здесь критерием качества в каждом случае может быть любой из показателей: массовая доля сырого протеина, жира, клетчатки, кальция, фосфора, содержание витаминов.

Предпоследнее неравенство представляет собой ограничение по содержанию отдельных компонентов рецептуры.

Процесс проектирования рецептур кормов состоит из следующих этапов:

- составление базы данных, содержащей информацию о виде и химическом составе ингредиентов;

- составление балансовых уравнений по химическому составу (белок, жир, клетчатка, кальций, фосфор, витамин А, витамин В₁);

- установление ограничений на использование отдельных ингредиентов;

- определение функции цели для оптимизации рецептуры;

- решение поставленной задачи нелинейного программирования методом обобщенного приведенного градиента (ОПГ);

- анализ и выбор рецептуры, отвечающей поставленной цели.

Алгоритм процесса проектирования рецептур представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Алгоритм процесса проектирования рецептур

Рассмотрим пример проектирования рецептуры полнорационного экструдированного сухого корма для собак крупных пород (далее корм для собак крупных пород).

Корм для собак крупных пород содержит следующие ингредиенты: продукты растительного происхождения (кукуруза, шрот подсолнечный, пшеница), отходы переработки мяса, сухое обезжиренное молоко (СОМ), кровяную муку, мясокостную муку, премикс для собак, овощи сухие измельченные, зелень сухую измельченную, масло растительное, дрожжи хлебопекарные, мел, соль поваренную.

Процесс производства корма для собак состоит из двух основных этапов:

1) экструдирование измельченных отходов переработки мяса и продуктов растительного происхождения (сухого наполнителя), в результате чего получается экструдат;

2) гранулирование измельченного экструдата, смешенного с остальными компонентами рецептуры.

Рациональный диапазон соотношений отходов переработки мяса и сухого наполнителя был определен в результате проведения полного факторного эксперимента ПФЭ-3² со звездным плечом по оценке влияния влажности исходной смеси, расхода сырья, диаметра выходного отверстия на конусной головке экструдера на температуру смеси в предметричной зоне и качество экструдата. Данный диапазон составил (26,6:73,4)–(33,2:66,8).

В условиях участка технических фабрикатов ОАО «Слонимский мясокомбинат» на экструзионной линии была выработана опытная партия экструдата (соотношение отходов переработки мяса и сухого наполнителя 30:70) и определено содержание в нем влаги, сырого протеина, сырого жира и сырой клетчатки (таблица 1).

Таблица 1 – Физико-химические показатели экструдата

Наименование	Наименование показателей, %			
	влага	сырой протеин	сырой жир	сырая клетчатка
Экструдат	10,9 ± 0,18	24,3 ± 0,08	5,95 ± 0,10	5,3 ± 0,09

Полученные данные использовались при проектировании рецептур.

Химический состав сырья, используемого для создания рецептур, представлен в таблице 2 (на основании экспериментальных и теоретических данных).

Таблица 2 – Химический состав сырья [5, 6]

Наименование сырья	Содержание в %						Содержание витамина А, МЕ/кг	Содержание витамина В ₁ , мг/кг
	влага	протеин	жир	клетчатка	кальций	фосфор		
Экструдат	10,9±0,18*	24,3±0,08*	5,95±0,10*	5,3±0,09*	0,11**	0,68**	2065,51	4,24
Мясокостная мука	8,9±0,07*	50,6±0,16*	8,4±0,14*	2,0±0,08*	6,80±0,091*	5,90±0,011*	-	4,50
Кровяная мука	8,9±0,06*	81,6±0,16*	2,4±0,08*	0,9±0,02*	0,28±0,011*	0,35±0,015*	-	77,00
СОМ	4,0±0,10*	33,6±0,17*	0,8±0,04*	-	1,15±0,018*	1,02±0,016*	-	0,80
Дрожжи прессованные	72,2±0,23*	12,7±0,07*	0,4±0,01*	2,1±0,08*	0,04±0,001*	0,40±0,015*	-	6,00
Премикс для собак	8,6	6,77	1,54	3,16	10,85	0,32	1200000	300,00
Масло подсолнечное	0,1	-	99,90	-	-	-	-	-
Соль поваренная	0,7	-	-	-	0,55	-	-	-
Мел	4,0	-	-	-	34,00	-	-	-
Лук сухой	13,8±0,07*	16,3±0,21*	2,7±0,11*	8,7±0,13*	0,18±0,007*	0,37±0,010*	-	1,00
Картофель сухой	10,0±0,11*	6,5±0,19*	0,3±0,01*	3,1±0,07*	0,03±0,001*	0,22±0,009*	-	1,00
Морковь сухая	14,0±0,11*	13,2±0,16*	1,3±0,05*	9,9±0,15*	0,10±0,004*	0,32±0,009*	-	1,20
Укроп сухой	7,4±0,11*	19,9±0,28*	4,4±0,08*	18,60±0,19*	1,47±0,028*	0,72±0,016*	-	1,90
Петрушка сухая	11,5±0,14*	25,00±0,33*	5,1±0,07*	25,1±0,16*	1,00±0,040*	0,55±0,014*	-	2,90

* – экспериментальные данные

** – расчетные данные на основании экспериментальных данных

Нормативные требования к кормам для собак крупных пород приведены в таблице 3.

С учетом потерь белка (3,43±0,04%), установленных экспериментальным путем, содержание сырого протеина в оптимизированной рецептуре должно составлять не менее 25,9%.

Таблица 3 – Физико-химические показатели полнораціонных экструдированных сухих кормов для собак крупных пород

Наименование показателя	Норма
Массовая доля сырого протеина, %, не менее	25,0
Массовая доля сырой клетчатки, %, не более	5,5
Массовая доля сырого жира, %, не более	13,5
Витамин А, МЕ/кг, не менее	5000
Фосфор, %	0,5–1,0
Кальций, %	0,7–1,0

На основании данных таблицы 2 и таблицы 3 проведено проектирование рецептуры корма для собак крупных пород.

Введены следующие обозначения содержания используемых ингредиентов (%): X_1 – содержание экструдата; X_2 – мясокостной муки; X_3 – кровяной муки; X_4 – СОМ; X_5 – дрожжей прессованных; X_6 – премикса; X_7 – соли поваренной; X_8 – масла растительного; X_9 – мела; X_{10} – лука сухого; X_{11} – картофеля сухого; X_{12} – моркови сухой; X_{13} – укропа сухого; X_{14} – петрушки сухой.

Балансовые уравнения, составленные согласно вышеперечисленным требованиям с учетом влажности готового продукта (14,5%), имеют следующий вид:

а) сумма массовых долей всех компонентов

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} = 100 ;$$

б) сырой протеин

$$25,9 \leq (24,3 \cdot X_1 + 50,6 \cdot X_2 + 81,6 \cdot X_3 + 33,6 \cdot X_4 + 12,7 \cdot X_5 + 6,77 \cdot X_6 + 16,3 \cdot X_{10} + 6,5 \cdot X_{11} + 13,2 \cdot X_{12} + 19,9 \cdot X_{13} + 25,0 \cdot X_{14}) \cdot 85,5 / (100 \cdot CB);$$

в) сырой жир

$$13,5 \leq (5,95 \cdot X_1 + 8,4 \cdot X_2 + 2,4 \cdot X_3 + 0,8 \cdot X_4 + 0,4 \cdot X_5 + 1,54 \cdot X_6 + 99,9 \cdot X_8 + 2,7 \cdot X_{10} + 0,3 \cdot X_{11} + 1,3 \cdot X_{12} + 4,4 \cdot X_{13} + 5,1 \cdot X_{14}) \cdot 85,5 / (100 \cdot CB);$$

г) сырая клетчатка

$$5,5 \leq (5,3 \cdot X_1 + 2,0 \cdot X_2 + 0,9 \cdot X_3 + 2,1 \cdot X_5 + 3,16 \cdot X_6 + 8,7 \cdot X_{10} + 3,1 \cdot X_{11} + 9,9 \cdot X_{12} + 18,6 \cdot X_{13} + 25,1 \cdot X_{14}) \cdot 85,5 / (100 \cdot CB);$$

д) кальций

$$0,7 \leq (0,11 \cdot X_1 + 6,8 \cdot X_2 + 0,28 \cdot X_3 + 1,15 \cdot X_4 + 0,04 \cdot X_5 + 10,9 \cdot X_6 + 0,55 \cdot X_7 + 34,0 \cdot X_9 + 0,18 \cdot X_{10} + 0,03 \cdot X_{11} + 0,1 \cdot X_{12} + 1,47 \cdot X_{13} + 1,0 \cdot X_{14}) \cdot 85,5 / (100 \cdot CB) \leq 1,0;$$

е) фосфор

$$0,5 \leq (0,68 \cdot X_1 + 5,9 \cdot X_2 + 0,35 \cdot X_3 + 1,02 \cdot X_4 + 0,4 \cdot X_5 + 0,32 \cdot X_6 + 0,37 \cdot X_{10} + 0,22 \cdot X_{11} + 0,32 \cdot X_{12} + 0,72 \cdot X_{13} + 0,55 \cdot X_{14}) \cdot 85,5 / (100 \cdot CB) \leq 1,0;$$

ж) витамин А

$$5000 \leq (2066 \cdot X_1 + 1200000 \cdot X_6) \cdot 85,5 / (100 \cdot CB);$$

з) витамин В1

$$1,0 \leq (4,24 \cdot X_1 + 4,5 \cdot X_2 + 77,0 \cdot X_3 + 0,8 \cdot X_4 + 6,0 \cdot X_5 + 300 \cdot X_6 + 1,0 \cdot X_{10} + 1,0 \cdot X_{11} + 1,2 \cdot X_{12} + 1,9 \cdot X_{13} + 2,9 \cdot X_{14}) \cdot 85,5 / (100 \cdot CB);$$

и) ограничения для отдельных компонентов

$$X_1 \geq 80,0; X_5 \leq 0,71; X_6 \leq 1,0; X_7 \leq 0,3; 1,2 \leq X_8 \leq 2,5;$$

$$1,5 \leq (X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14}) \leq 3,2; X_{13} \leq 0,1;$$

к) соотношение Ca:P = 1,2:1.

где 85,5 – нормативное содержание сухих веществ в корме, %;

CB – содержание сухих веществ согласно рецептуре, %.

Ограничения по содержанию дрожжей прессованных (X_5), соли поваренной (X_7), масла подсолнечного (X_9), овощей (X_{10} – X_{14}) выбраны на основании анализа литературных данных [1, 7, 8], по содержанию премикса для собак (X_6) – на основании рекомендаций изготовителя.

Функцией цели выбрана сумма квадратов отклонений содержания таких питательных веществ, как сырой протеин, натрий, магний, так как избыток данных веществ также вреден, как и их недостаток [3, 9]. Целью оптимизации является снижение данной величины.

$$\begin{aligned} & ((24,3 \cdot X_1 + 50,6 \cdot X_2 + 81,6 \cdot X_3 + 33,6 \cdot X_4 + 12,7 \cdot X_5 + 6,77 \cdot X_6 + 16,3 \cdot X_{10} + 6,5 \cdot X_{11} + \\ & + 13,2 \cdot X_{12} + 19,9 \cdot X_{13} + 25,0 \cdot X_{14}) \cdot 85,5 / (100 \cdot CB) - 25,9)^2 + ((0,08 \cdot X_1 + 1,55 \cdot X_2 + \\ & + 0,33 \cdot X_3 + 0,54 \cdot X_4 + 0,02 \cdot X_5 + 0,02 \cdot X_6 + 0,11 \cdot X_{10} + 0,1 \cdot X_{11} + 0,06 \cdot X_{12} + 0,3 \cdot X_{13} + \\ & + 0,47 \cdot X_{14}) \cdot 85,5 / (100 \cdot CB) - 0,4)^2 + ((0,25 \cdot X_1 + 0,18 \cdot X_2 + 0,35 \cdot X_3 + 0,05 \cdot X_5 + \\ & + 0,08 \cdot X_{10} + 0,08 \cdot X_{11} + 0,06 \cdot X_{12} + 0,048 \cdot X_{13} + 0,5 \cdot X_{14}) \cdot 85,5 / (100 \cdot CB) - 0,1)^2 \rightarrow \min, \end{aligned}$$

где 0,4; 0,1 – оптимальное содержание натрия и магния в корме для собак крупных пород, соответственно [3].

В результате решения поставленной задачи программа выдает множество вариантов рецептур, удовлетворяющих ожидаемым требованиям. Выбранная рецептура представлена на рисунке 2.

Ингредиенты	X	Масса, кг	Массовая доля, %							Витамин А, МЕ/кг	витамин В1, м/кг	Массовая доля, %	
			белка	жира	клетчатки	кальция	фосфора	натрия	магния			сухих веществ	воды
Экструдат	X1	80,9	24,31	5,95	5,30	0,11	0,68	0,04	0,25	2 065,51	4,24	10,28	89,72
Масокостная мука	X2	3,3	50,60	8,40	2,00	6,80	5,90	1,55	0,18	-	4,50	8,90	91,10
Кровяная мука	X3	5,0	81,60	2,40	0,90	0,28	0,35	0,33	0,35	-	77,00	8,90	91,00
Молоко сухое обезжиренное	X4	4,5	33,60	0,80	-	1,15	1,02	0,40	-	-	0,80	4,00	96,00
Дрожжи прессованные	X5	0,5	12,70	0,40	2,10	0,04	0,40	0,02	0,05	-	6,00	72,20	27,80
Премикс	X6	0,8	6,77	1,54	3,16	10,85	0,32	0,02	-	1 200 000,00	300,00	8,60	88,00
Соль поваренная	X7	0,2	-	-	-	0,55	-	-	-	-	-	0,70	99,30
Масло растительное	X8	1,6	-	99,90	0,00	-	-	-	-	-	-	0,10	99,90
Мел	X9	1,5	-	-	-	34,00	-	-	-	-	-	4,00	96,00
Лук сухой	X10	0,1	16,30	2,70	8,70	0,18	0,37	0,11	0,08	-	1,00	13,80	86,20
Картофель сухой	X11	0,5	6,50	0,30	3,10	0,03	0,22	0,10	0,08	-	1,00	10,00	90,00
Морковь	X12	0,8	13,20	1,30	9,90	0,10	0,32	0,06	0,06	-	1,20	14,00	86,00
Укроп сухой	X13	0,2	19,90	4,40	18,60	1,47	0,72	0,30	0,48	-	1,90	7,40	92,60
Петрушка сухая	X14	0,2	25,00	5,10	25,10	1,00	0,55	0,47	0,50	-	2,90	11,50	88,50
Итого, кг		100,00											
Нормативные требования			25,9	13,5	5,5	0,5-1,0	0,7-1,0	0,1	0,2	5000	1	14,5	85,5
Балансовые уравнения			25,89	6,54	4,37	0,93	0,78	0,11	0,21	10703,21	9,42	9,93	90,04
Опложение			-0,01					0,01	0,01			14,5	85,5
Сумма квадратов отклонений		0,00				1,20000							

Рисунок 2 – Расчет рецептуры корма для собак крупных пород

Выводы. Разработана обобщенная математическая модель рецептуры полнорационного экструдированного сухого корма для собак.

Таким образом, использование компьютерных технологий при моделировании многокомпонентного состава продукции позволяет в короткие сроки получить оптимальные соотношения компонентов рецептуры полнорационного экструдированного сухого корма для собак, удовлетворяющие всем предъявляемым требованиям.

Список использованных источников

1. Хохрин, Н. Кормление собак: справочник. Кормление собак по породам, возрастам в зависимости от физиологического состояния, в периоде размножения, лечебное питание [Текст] / Н. Хохрин. – М.: «ВСВ-Сфинкс», 2006. – 143 с.
Hohrin, N. Kormlenie sobak: spravochnik. Kormlenie sobak po porodam, vozrastam v zavisimosti ot fiziologicheskogo sostojaniya, v periode razmnozheniya, lechebnoe pitanie [Tekst] [Feeding dogs: guide. Feeding dogs by breed, ages, depending on the physiological state, the period of reproduction, health food] / N. Hohrin. – М.: «VSV-Sfinks», 2006. – 143 s.
2. Богданова, И.Б. Питание кошек и собак / И.Б. Богданова. – М.: ООО «ГаммаПресс 2000», 2002. – 416 с.
Bogdanova, I.B. Pitanie koshek i sobak [Feeding cats and dogs] / I.B. Bogdanova. – М.: ООО «GammaPress 2000», 2002. – 416 s.
3. Льюис, Л. Кормление собак и кошек. L.D. Lewis, M.L. Morris (jr), M.s. Hand SMALL ANIMALL CLINICAL NUTRITION / Л. Льюис, М. Моррис (мл.), М. Хэнд // перевод с англ. и ред. докт. биол. н. А.С. Ерохина. – MARK MORRIS ASSOCIANES TOPEKA, Kansas, 1987. – 151 с.
L'juis, L. Kormlenie sobak i koshek [Feeding dogs and cats]. L.D. Lewis, M.L. Morris (jr), M.s. Hand SMALL ANIMALL CLINICAL NUTRITION / L. L'juis, M. Morris (ml.), M. Hjend // perevod s angl. i red. dokt. biol. n. A.S. Erohina. – MARK MORRIS ASSOCIANES TOPEKA, Kansas, 1987. – 151 с.
4. Фатеева, Е. Ваша собака / Е.Фатеева. – М: ООО «ГаммаПресс 2000», 2001. – 480 с.

Fateeva, E. Vasha sobaka [Your dog] / E.Fateeva. – М: ООО «GammaPress 2000», 2001. – 480 с.

5. Классификатор сырья и продукции комбикормового производства Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Мн., 2006.

Klassifikator syr'ja i produkcii kombikormovogo proizvodstva [Qualifier of feed raw materials and products production] Ministerstva sel'skogo hozjajstva i prodovol'stvija Respubliki Belarus', Мн., 2006.

6. Химический состав пищевых продуктов. Справочник, кн. 2 / под ред. И.М. Скурихина, М.Н. Волгарева. – М.: ВО «Агропромиздат», 1987. – 359 с.

Himicheskiy sostav pishhevyh produktov [The chemical composition of foods]. Spravochnik, kn. 2 / pod red. I.M. Skurihina, M.N. Volgareva. – М.: ВО «Агропромиздат», 1987. – 359 с.

7. Масленникова, Н.И. Основные принципы правильного кормления собак / Н.И. Масленникова // Мир собак. – 2001. – № 3.

Maslennikova, N.I. Osnovnye principy pravil'nogo kormlenija sobak [Basic principles of correct feeding dogs] / N.I. Maslennikova // Mir sobak. – 2001. – № 3.

8. Круковер, В.И. 300 практических советов владельцам собак. Типичные ошибки / В.И. Круковер. – М.: Континент-Пресс, 2002. – 224 с.

Krukover, V.I. 300 prakticheskikh sovetov vladel'cam sobak. Ti-pichnye oshibki [300 practical tips dog owners. Common mistakes] / V.I. Krukover. – М.: Kontinent-Press, 2002. – 224 с.

9. Гигиена животных / под ред. докт. с.х.н. проф. В.А. Медведского, док. вет. н. проф. Г.А. Соколова. – Мн.: Адукацыя: выхаванне, 2003. – С. 567–573.

Gigiena zhyvotnyh [Animal Hygiene] / pod red. dokt. s.h.n. prof. V.A. Medvedskogo, dok. vet. n. prof. G.A. Sokolova. – Мн.: Adukacyja: vyhavanne, 2003. – S. 567–573.

L. Charniauskaya, O. Dymar

Institute for Meat and Dairy Industry, Minsk, Republic of Belarus

DESIGNING OF FORMULATIONS OF COMPLETE EXTRUDED DRY DOG FOOD WITH THE HELP OF MATHEMATICAL MODELING

Summary

The article presents the developed generalized mathematical model of formulation of complete extruded dry dog food, which is an automated solution, which intensifies the process of formulations designing and get the product that fully meets the needs of large breed dogs in nutrients.

Keywords: extruded dry food, dog, formulation modeling.