

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАДСТРОЙКИ RISK SOLVER PLATFORM ПАКЕТА MICROSOFT EXCEL ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА КОМБИКОРМОВ

Введение

Для предприятий аграрно-промышленного комплекса, таких, как птицефабрика, актуальной является задача получения высокой продуктивности поголовья птиц.

Ключевым фактором в решении данной задачи является использование комбикормов заданного качества, которые бы не только полностью удовлетворяли потребности в питательных веществах, но и способствовали ускоренному росту птицы.

Кормление является главным фактором, влияющим на количественную и качественную сторону обмена веществ в организме птицы. Недостаток или избыток в корме определенных питательных веществ изменяет течение биохимических процессов в организме, снижает продуктивность птицы и даже может быть причиной заболеваний.

Повышенные требования к питательной ценности комбикормов и нормам их суточной дачи требуют научной обоснованности формирования рационов кормления (потребности птицы в питательных веществах).

Традиционным подходом к решению данной задачи является применение методологии экономико-математического моделирования [1]. В соответствии с ней, получение высококачественного комбикорма предполагает построение модели комбикорма в виде его рецепта, в котором обеспечены все требуемые показатели питательности и биологически активные вещества.

Создание такой модели (расчет рецепта), оптимально сбалансированной по всем показателям питательности и химического состава, является непростой научно-технической проблемой. Рецепт комбикорма — это сочетание 10-18 кормовых компонентов, 3-12 видов витаминов, 5-6 видов микроэлементов, 2-5 видов биологически активных добавок. Все это только в своей совокупности в определенном весовом (процентном) соотношении способно удовлетворить потребности птицы в питательных веществах [2].

Большинство подходов к решению задач оптимизации рационов питания традиционно базируются на общем методическом принципе: добиться минимальной стоимости рационов при обеспечении заданных границ их питательности. При этом не учитывается факт наличия на складе нужного количества каждой составляющей.

Однако, следует заметить, что высококачественный комбикорм – это однородный корм, характеризующийся постоянством содержания питательных веществ в любой единице его массы или объема. Это условие трудновыполнимо в случае поставок на предприятие нестабильного по качеству сырья (разное количество жиров, белков, углеводов вследствие, например, разной влажности). Использование при производстве комбикорма по рассчитанному для одних партий ингредиентов рецепту составляющих из других партий, приводит к несоответствию получаемых выходных характеристик комбикорма.

Поэтому целесообразным видится введение в модель комбикорма также ограничений по наличию его компонент (ингредиентов) на складе (по объемам его компонент, имеющихся в наличии на складе).

Математическая модель задачи

Задача расчета рецептов комбикормов ставится следующим образом.

Предприятие, производящее перечень комбикормов для птицы, имеет на складе определенные запасы сырья (ингредиентов), из которого эти комбикорма производятся. Для каждого рецепта комбикорма известны: выходной вес готового комбикорма, а также нижние и верхние границы содержания питательных веществ в нем (в единице массы). Для каждого ингредиента известны: стоимость единицы ингредиента и процентное содержание определенных питательных веществ в ней.

Цель задачи: учитывая имеющиеся на складе запасы ингредиентов, рассчитать перечень необходимых рецептов комбикормов, которые удовлетворяют заданным требованиям по их питательной ценности, минимизируя стоимость всего производства.

Важным требованием является также наличие программного продукта, позволяющего решать данную математическую задачу и способного быть интегрированным в другое комплексное решение.

Экономико-математическое моделирование, как правило, опирается на методы линейного программирования и позволяет находить оптимальный план в задачах, имеющих линейную структуру (представляемых линейными моделями) [3].

Учитывая вышесказанное, предлагается для решения поставленной выше задачи использовать математическую модель, представленную в виде ЗЛП следующего вида:

Целевая функция:

$$\sum_{i=1}^{ingr} \sum_{j=1}^r x_{ij} c_i \rightarrow \min \quad (1)$$

Ограничения:

$\sum_{i=1}^{ingr} x_{ij} = l_j, \forall j = 1 \div r$ – требование соответствия суммарного количества ингредиентов j -го рецепта (в граммах) необходимому весу соответствующего комбикорма,

$\sum_{j=1}^r x_{ij} \leq d_i, \forall i = 1 \div ingr$ – требование непревышения имеющихся запасов i -го ингредиента,

$\sum_{j=1}^r x_{ijp} \leq b_{jp}, \forall i = 1 \div ingr, \forall p = 1 \div part$ – требование непревышения верхней границы содержания p -го питательного вещества в комбикорме, изготовленном по j -му рецепту,

$\sum_{j=1}^r x_{ijp} \geq a_{jp}, \forall i = 1 \div ingr, \forall p = 1 \div part$ – требование минимального содержания p -го питательного вещества в комбикорме, изготовленном по j -му рецепту

$x_{ij} \geq 0, \forall i = 1 \div ingr, j = 1 \div r$ – неотрицательность значений x_{ij}

Здесь $ingr$ – количество имеющихся ингредиентов,

r – количество рецептов,

$part$ – количество учитываемых питательных веществ,

x_{ij} – количественное (в граммах) содержание i -го ингредиента в j -м рецепте,

c_i – цена i -го ингредиента,

l_j – вес комбикорма по j -му рецепту,

d_i – запасы i -го ингредиента,

b_{jp} – верхняя граница содержания p -го вещества в комбикорме, изготовленном по j -му рецепту,

a_{jp} – нижняя граница содержания p -го вещества в комбикорме, изготовленном по j -му рецепту.

Ограничения представляют собой систему, состоящую из $r + ingr + 2 \cdot r \cdot part$ линейных уравнений и неравенств.

В матричном виде данная модель может быть представлена следующим образом.

Целевая функция:

$$X \cdot c \rightarrow \min \tag{2}$$

Ограничения:

$$\begin{cases} X \cdot e = l \\ X^T \cdot e \leq d \\ X \cdot P^T \leq B, \\ X \cdot P^T \geq A \\ X \geq 0 \end{cases}$$

где $X[r \times ingr]$ – матрица, хранящая количественное (в граммах) содержание ингредиентов в рецептах,

$c [ingr]$ – вектор стоимости ингредиентов,

$e [ingr]$ – вектор-столбец вида $\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ \dots \\ 1 \end{pmatrix}$,

$l [r]$ – вектор, содержащий заданные значения выходного веса комбикормов по каждому рецепту,

$d [ingr]$ – вектор запасов ингредиентов,

$P [ingr \times part]$ – матрица, задающая долевое содержания питательных веществ в ингредиентах,

$B [r \times part]$ – матрица, задающая верхние границы содержания питательных веществ (в граммах) в рецептах,

$A [r \times part]$ – матрица, задающая нижние границы содержания питательных веществ (в граммах) в рецептах.

Особенностью данной модели является большая размерность обрабатываемых матриц, что вызвано необходимостью сочетания при производстве комбикорма большого количества рецептов и ингредиентов.

Данная задача может не иметь решения. Тогда это означает, что сырье характеризуется недостаточной питательной ценностью или имеется в недостаточном количестве.

Метод решения задачи

Анализ существующих в настоящее время программных средств по оптимизации рационов сельскохозяйственных животных и птиц (“Комбикорм”, “WinPas”, КОРАЛЛ, “АдептИС” и др.) показал, что они, в большинстве случаев они базируются на общем методическом принципе: добиться минимальной стоимости рационов (либо уровня содержания определенных показателей питательности) при обеспечении заданной их питательности [4,5].

Для расчетов используется симплексный метод решения задач линейного программирования, который в качестве системы ограничений использует требуемые ограничения по питательности для искомого рациона, а целевой функцией является либо минимум стоимости, либо максимум/минимум выбранных показателей питательности. Дополнительно могут быть заданы ограничения по содержанию сырья в комбикорме/рационе.

Некоторые программы (например, “АдептИС”) позволяют учесть воздействие ферментов. Для этого решается несколько задач оптимизации: на первом этапе осуществляется отбор кормов, входящих в состав рациона. При решении последующих задач, с учетом воздействия ферментов и задаваемых пользователем “весов” – коэффициентов понижения значимости кормов в составе комбикорма – осуществляется окончательная балансировка состава комбикорма/рациона [4].

Решение поставленной задачи не поддерживается данными программными системами. Более того, применение обычного симплекс метода к данной задаче неэффективно из-за большой размерности симплекс-матрицы.

Некоторые программные средства (например, система Libra) решают данную задачу, но имеют закрытый исходный код, что не позволяет выполнить их интеграцию с другими комплексными решениями. Кроме того, они достаточно дороги для приобретения.

В качестве выхода из данной ситуации, предлагается использовать для расчета универсальный пакет Microsoft Excel. Тем более, результаты, представленные в виде листа Excel, являются одним из официальных типов документации в США.

В Microsoft Excel для решения подобного рода задач имеется стандартное средство “Поиск решения”. Исходными данными в этом случае являются матрицы и вектора, определяющие математическую модель задачи [6].

Однако, как показали исследования (согласно документации), данное средство имеет ограничение в 200 подбираемых ячеек, что делает невозможным расчет задач большой размерности. Поэтому данный способ расчета может быть использован только при небольшом количестве требуемых рецептов и при сочетании в рецепте комбикорма небольшого количества ингредиентов.

Помимо стандартного средства “Поиск решения” в Microsoft Excel имеется также расширенный модуль “Поиска решений”, - Solver (Risk Solver Platform), который разработан компанией Risk Software. Он позволяет увеличить количество подбираемых ячеек до 2000, что вполне достаточно для решения поставленной задачи при средних размерностях. Но данный модуль так же имеет ограничение на размер всей задачи. Граничные размерности, при которых задача все еще может быть решена таким способом, будет определена в ходе вычислительного эксперимента.

Исходные данные для решения (матрицы и векторы, определяющие математическую модель задачи), размещаются на листе Excel с указанием зависимостей между ячейками с изменяющимися значениями (рис. 1). Помимо них на листе размещаются также вспомогательные матрицы и вектора, а именно:

$Q [r \times part] = X \cdot P^T$ – матрица, хранящая текущее содержание питательных веществ (в граммах) в рецептах,

$k [r] = X \cdot e$ – вектор, содержащий текущие значения выходного веса комбикормов по каждому рецепту,

$f [ingr] = X^T \cdot e$ – вектор текущих значений количества (в граммах) использованных ингредиентов,

$g [ingr] = X^T \cdot c$ – текущая стоимость использованных ингредиентов,

$z = g^T \cdot e \rightarrow \min$ – целевая функция задачи

При поиске решения учитываются следующие ограничения:

$$\left\{ \begin{array}{l} l=k \\ f \leq d \\ Q \geq A \\ Q \leq B \end{array} \right.$$

Постановка вычислительного эксперимента

Исследование возможности применения пакета Microsoft Excel для решения поставленной задачи осуществлялось с использованием сгенерированных случайным образом исходных данных. Размерности задачи, а

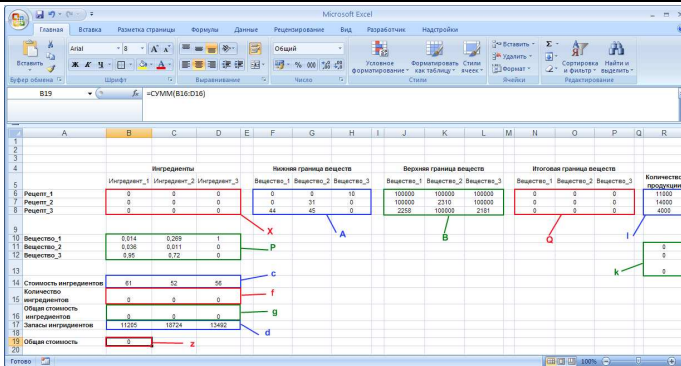


Рис. 1 – Размещение исходных данных на листе Excel

также параметры для генерации случайных значений величин, задавались через интерфейс специально созданного для проведения тестирования приложения, написанного на языке C#. Этот интерфейс представлен на рис. 2

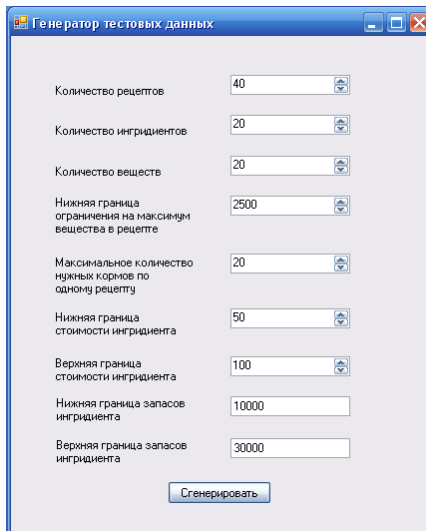


Рис. 2 – Интерфейс приложения для генерации тестовых данных

В основе взаимодействия данного приложения с Microsoft Excel лежит поддержка этим пакетом XML-формата представления данных (XML-Spreadsheet) [7]. Сгенерированные приложением тестовые данные, структурированные по заданному шаблону (рис. 1), сохраняются в *xls*-файле

(в виде XML-данных). В дальнейшем этот сгенерированный файл может быть открыт в Microsoft Excel для проведения расчета.

На рис. 3 представлен результат решения данной задачи для исходных данных, показанных на рис. 1.

	Ингредиенты			Точные границы веса			Верхние границы веса			Нижние границы веса			Кол-во продукции
	Ингредиент_1	Ингредиент_2	Ингредиент_3	Вещество_1	Вещество_2	Вещество_3	Вещество_1	Вещество_2	Вещество_3	Вещество_1	Вещество_2	Вещество_3	
Рецепт_1	0	11900	0	0	0	10	100000	100000	100000	2809	121	7820	11800
Рецепт_2	5412,84137	8007,95980	0	0	31	0	100000	210	100000	10043,79778	99,03249507	3896,669370	14000
Рецепт_3	543,5681985	2310,95963	1144,471174	44	46	0	2268	100000	2181	1704	46	2181	4000
Вещество_1	0,014	0,269	1										11800
Вещество_2	0,096	0,011	0										14000
Вещество_3	0,05	0,72	0										4000
Стоимость ингредиентов	81	82	56										
Количество ингредиентов	543,5681985	10724	9732,431003										
Общая стоимость ингредиентов	33187,69369	973848	846516,181										
Задача ингредиентов	11000	10724	13480										
Общая стоимость	100709,1084												

Рис. 3 – Пример расчета для 3-х рецептов, 3-х ингредиентов и 3-х веществ

Используя указанное выше приложение, а также макрос в Microsoft Excel для временных замеров, были проведены испытания работы надстройки при решении задач разной размерности. Вначале был проведен эксперимент при размерностях 3/3/3 (3 рецепта, 3 ингредиента, 3 вещества), затем при 20/20/20. В последующих экспериментах 2 величины фиксировались, и пошагово изменялась третья – для определения степени влияния каждой из них на скорость вычислений. Результаты экспериментов приведены в таблице 1.

Примечание: “-” в колонке “Время вычислений” означает, что задача слишком сложна для решения данным модулем.

На основании полученной таблицы был построен график зависимости скорости вычислений от количества рецептов, ингредиентов и веществ. Данный график показан на рис. 4.

На графике, на горизонтальной оси, указаны значения изменяемой переменной (при фиксированных остальных двух). На вертикальной оси отображено время решения задачи (в секундах). Проанализировав график можно прийти к выводу, что наибольшее влияние на скорость вычислений оказывает количество рассчитываемых рецептов. Количество веществ меньше всего влияет на производительность, но от этого количества в основном зависит возможность решения задачи данной надстройкой. К примеру, при более чем 75 веществах задача решается лишь, если количество ингредиентов менее 23. В итоге на использование данного модуля накладываются следующие ограничения:

- $r \cdot ingr < 2000$
- $r + ingr + 2 \cdot r \cdot part < 8192$

Таблица 1

Результаты вычислительных экспериментов

Количество рецептов	Количество ингредиентов	Количество вещества	Время вычислений (сек)
3	3	3	0,42
20	20	20	2,55
30	20	20	3,98
40	20	20	5,95
50	20	20	8,77
100	20	20	32,82
20	30	20	3,34
20	40	20	4,47
20	50	20	5,88
20	100	20	14,09
20	20	30	2,97
20	20	40	3,48
20	20	50	3,66
20	20	75	4,61
20	20	76	-
22	23	75	-

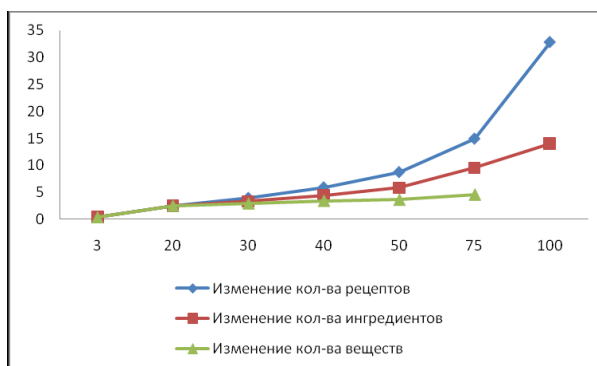


Рис. 4 – Влияние размерностей на скорость вычислений

3. Если $part > 75$, то $ingr < 23$

Таким образом, для решения задач, размерности которых выше заявленных, нужно искать другие методы.

Выводы

На основании приведенных выше теоретических положений и их практической реализации:

1. Предложена математическая модель задачи расчета рецептов комбимесей, обеспечивающая одновременное получение сразу всех необходимых рецептов комбикормов с учетом факта наличия необходимых ингредиентов комбикормов на складе. При этом даже в условиях, когда не все ограничения могут быть выполнены, получены результаты, удовлетворяющие как можно большим ограничениям.
2. Интеграция с надстройкой Risk Solver Platform универсального пакета Microsoft Excel позволяет за приемлемое время (от десятых долей секунды до минуты) решить данную задачу при средних размерностях задачи (100 рецептов, 100 ингредиентов, 75 веществ) при учете ограничений, указанных ранее.
3. Представление обрабатываемых данных в формате XML-Spreadsheet, поддерживаемом Excel, позволяет интегрировать полученные результаты в различные программные системы, а также обеспечивает непосредственный обмен данными, поскольку пакет Microsoft Excel является широко распространенным.

Литература

1. Математическое моделирование экономических процессов в с/х. / А.М. Гатаулин и др. Под ред. А.М. Гатаулина. - Агропромиздат, 1990.
2. Панин И. Г., Гречишников В. В. Повышение эффективности производства животноводческой продукции с использованием программ оптимизации рецептов комбикормов. // Зооиндустрия. 2004. 8-9
3. Трифонов А. Г. Постановка задачи оптимизации и численные методы ее решения /Проектирование научных и инженерных приложений в среде MATLAB. Всероссийская научная конференция, 2004.
4. Лукьянов Б.В., Лукьянов П.Б. КОРАЛЛ – комплексная оптимизация и анализ рационов, комбикормов, премиксов // “Ценовик”, 4, 2005
5. <http://www.winpas.narod.ru/>
6. Microsoft Excel 200. Шаг за шагом: Практик. Пособ. /Пер. с англ. – М.: Издательство ЭКОМ, 1999.
7. [http://msdn.microsoft.com/en-us/library/aa140066\(office.10\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/aa140066(office.10).aspx)

Отримано 18.02.2010 р.