

УДК 631.15: 004.9

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ПРОГРАММЕ БАЛАНСИРОВАНИЯ РАЦИОНОВ

Е.В. Галушко,

доцент каф. прикладной информатики БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

Н.Г. Серебрякова,

зав. каф. прикладной информатики БГАТУ, канд. пед. наук, доцент

А.Г. Сеньков,

доцент каф. автоматизированных систем управления производством БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

А.М. Карпович,

аспирант каф. прикладной информатики БГАТУ

К.М. Шестаков,

доцент каф. интеллектуальных систем БГУ, канд. техн. наук, доцент

В статье представлен новый подход к организации балансирования рационов кормления животных в системах поддержки принятия решений, заключающийся в корректировке математической модели и разработке двухступенчатого алгоритма достижения баланса кормовой смеси.

The paper presents a new approach to balancing animals' feed rations in decision support systems is to adjust the mathematical models and the development of a two-step algorithm to achieve a balance of the feed mixture.

Введение

Работа высококвалифицированного специалиста в настоящее время немислима без специализированных профессиональных программ поддержки его работы. Например, системы автоматического проектирования различного уровня на современном этапе развития приближаются по своим возможностям к специалистам-профессионалам. Все более широкое применение находят такие программы и в аграрном секторе экономики. Эти программные продукты, как правило, опираются на профессионально ориентированные базы данных и знаний. Лица же, принимающие решения на различных уровнях сельскохозяйственного производства, обращаются к базам данных и оценивающим ситуации алгоритмам только изредка, при решении конкретной задачи. Однако продвижение программных продуктов поддержки принятия решений в различные сферы работы управленческих кадров и ведущих специалистов идет непрерывно.

Разработка систем поддержки принятия решений (СППР) в последние годы успешно развивается и внедряется в сельскохозяйственные технологии. Знание и умение пользоваться его плодами становятся неотъемлемой частью нового облика специалиста во многих областях деятельности [1, 2].

СППР помогают:

– сформировать множество альтернативных вариантов решения;

– сформировать множество критериев оценки альтернатив;

– получить оценки альтернатив по критериям;

– выбрать лучшую альтернативу, которая и выдается системой в качестве рекомендации;

– оценить важность различных критериев;

– определить способ построения обобщенного критерия.

В простейшем случае, без использования критериев оценки альтернатив СППР должны помогать, как минимум:

– сформировать множество альтернативных вариантов решения,

– получить результаты сравнения альтернатив,

– определить лучшую альтернативу, которая и выдается системой в качестве рекомендации.

Предлагаемая вниманию статья посвящена структурным и алгоритмическим аспектам в системах принятия решений при формировании сбалансированных рационов кормления скота.

Целью данной работы является разработка алгоритма программы балансирования рационов, позволяющих рассчитать и оптимизировать количество суточного рациона кормления животных, его питательную ценность и содержание в нем микроэлементов в соответствии с установленными научно обоснованными нормами и с учетом веса животного и его планируемой продуктивности.

Основная часть

Применение технологии поддержки принятия решений в программе балансирования рационов

Рассмотрим особенности таких программных продуктов на примере программ формирования рационов кормления животных. Математически задачи формирования оптимальных рационов кормления относятся к нечетким задачам и описываются в пространстве данных, знаний. Часть этих знаний, данных не четко определена и находится в исследовательской фазе [3, 4].

Целесообразность применения нечетких моделей в стадиях разработки продуктивна частично следующими обстоятельствами:

- невозможностью точного измерения реальных величин;
- невозможностью полного и четкого описания некоторых технологических процессов, объектов и ситуаций;
- ненаблюдаемостью ряда характеристик этапов производственного цикла, требующих интуитивных оценок.

Пусть $\vec{X} = (x_1, \dots, x_N)$ – заданное множество пространства событий, $i = 1, \dots, N$ – номер оси, $\vec{R} = (r_1, \dots, r_N)$ – описание пространства исходов, $F(\vec{X})$ – профили (оболочки) нечетких множеств на пространстве \vec{X} . Функция принадлежности комбинации A относится к комбинации нескольких множеств, формируя $\forall A = F(X)$. Теоретически существует и дополнение A : $A^c = A^c(x) = 1 - A(x)$. Для предположения, имеющего только два возможных варианта, дополнение описывает альтернативное утверждение.

Степень нечеткости четкого множества описания объекта (например, предположение о влиянии на лактацию выбранного показателя корма) часто удобно задать численно. Она равна 0, если исследуемый объект не принадлежит этому множеству и =1 в противном случае. Степень нечеткости множества = [0.5] достигает максимального значения, поскольку в этом случае элемент с равной вероятностью может принадлежать множеству или не принадлежать. Очевидно, дополнение такого нечеткого множества A будет иметь ту же степень нечеткости. Размытость комбинаций характеризуется величинами энтропии, чаще приведенными к величинам математических ожиданий комбинаций μ_A . В термодинамике, откуда заимствовано это понятие, энтропия связывается с вероятностью возникновения определенного расположения молекул. Энтропия показывает и величину разнообразия системы, где под разнообразием понимается степень неопределенности, возникающей при выборе из большого числа всевозможных вариантов. Л.

Больцман дал определение энтропии для тепловых процессов в 1877 году, а Клод Шеннон, спустя более половины столетия, показал, что формула Больцмана тождественна определению информационной энтропии, описывающей степень нечеткости в случайных данных. Очевидно, уменьшить ее можно только путем получения дополнительной информации.

Классическое определение энтропии:

$$H = -\sum_{i=1}^n p_i \cdot \log p_i$$

где p_i – вероятность i исхода, а n – количество возможных состояний.

Тогда как в нечеткой логике оно усложняется, переходя к термину нечеткой энтропии, которая описывает и степень размытости нечеткого множества.

Если сумма энтропий нечетких положений относящихся к одному объекту (например, совокупности предположений о влиянии на лактацию конкретного показателя корма) равна единице, то будем иметь полную систему описания объекта. Тогда величина энтропии может быть использована как вероятность появления объекта в статистической смеси [5, 6], что существенно упрощает расчеты.

Деревья решений позволяют хранить информацию о данных и содержат описание объектов (прошедших сортировку по условиям). Применяют и достаточно устойчивый графический вариант дерева решений [6].

В реальных задачах формирования рационов приходится смириться с существованием конечных величин неопределенностей, которые входят в состав стартовых моделей.

За основу стартовой модели приняты следующие предположения:

- Данные подготавливаются как в самой программе, так и могут быть получены и трансформированы в программу с распространенных текстовых, табличных, графических редакторов.
- Все данные строго регламентируются. Регламент данных доступен специалисту со средним профильным образованием.
- Доступ к модификации данных является открытым, специалисты обеспечивают локальность одинаковых по наименованию структур данных через разноименные папки, содержащие файлы.
- Ограничение доступа к папкам обеспечивается средствами операционной системы.

Наиболее приемлемым является формирование базы данных и знаний. Неизвестные данные определяются в стартовой модели растягиванием поверхностей данных через операции интерполяции и экстраполяции.

Таким образом, СППР формирования рационов должна обладать следующими возможностями:

- оперировать со слабоструктурированными решениями;

- быть гибкой и адаптироваться к изменениям в ситуации;
- быть простой в использовании и модификации;
- улучшать эффективность процесса принятия решений;
- позволять специалисту управлять процессом принятия решений;
- поддерживать моделирование;
- позволять использовать знания.

Обычно СППР делят на пассивные, активные и частично самостоятельные.

Пассивной СППР называется система, которая помогает процессу принятия решения, не выдвигая утверждений о превосходстве принимаемых решений.

Активная СППР выдвигает утверждения о превосходстве принимаемых решений.

Частично самостоятельные СППР позволяют изменять, пополнять или улучшать решения, внедряя изменения в систему.

На первом этапе желательно строить только пассивную СППР, но с возможностью ее дальнейшего совершенствования и развития.

В основу технологии разработки рекомендуется положить язык C++, как компромисс между строго объектно-ориентированным и процедурным подходом. Это позволяет увеличить объем наследования (заимствования), в том числе и из программных продуктов, разработанных участниками проекта разработки программы балансирования рационов [7, 8].

Оценку эффективности принятия решений в условиях неопределенности показателей питательной ценности кормов и их изменения с течением времени более правильно вести через аппарат теорий рисков.

Риском обычно называются положительные последствия, не выбранного из общей совокупности распределения $P_j \in P_\Sigma$, которые являются альтернативой. Если множество результатов лежит во множестве вещественных чисел, то рисками являются распределения случайных величин, которые можно отождествлять с функциями распределения на вещественной прямой. Для этого оказывается более естественным использовать не отношение порядка, а отношение предпочтения, поскольку отдельные риски могут оказаться «эквивалентными», с точки зрения математического ожидания их величины и ее разброса.

Отношение предпочтения более гибко, чем «больше – меньше во столько то раз». На множестве R задано отношение предпочтения \prec или \succ , если это отношение обладает следующими свойствами:

- полноты: для произвольной пары $\langle r_k, r_m \rangle \in R$ $k \neq m$ выполняются условия $(r_k \prec r_m) \cup (r_k \succ r_m) = 1$;
- транзитивности: если $(r_k \prec r_m) \cup (r_m \prec r_l) = 1$, то $r_k \prec r_l$;

– эквивалентности $r_m \sim r_m$, если $(r_k \prec r_m) \cup (r_m \prec r_k) = 1$.

Отношения предпочтения определяются введением меры риска. Например, в программе балансирования рациона кормления мерой риска может быть на первом этапе среднесуточный удой коровы.

Риски могут быть и «неизвестными» – те, которые не идентифицированы и не могут быть хорошо спрогнозированы. Например, показатели здоровья животных. Их учет позволяет корректировать рационы.

Поддержка принятия решения в программе балансирования рационов выглядит как интегрирование знаний специалиста и минимизация затрат в допустимых рамках вариации выбранной модели кормления животных. Алгоритм такой программы будет включать следующие этапы:

1. На первом этапе, по выбранной группе показателей (необходимых) кормов обеспечивается минимизация их отклонений от рекомендуемых суточных норм кормления и формируемого рациона.

2. На втором – в процентном отношении (задаваемом специалистом) уменьшается объем рациона по всем типам корма (фиксированный рацион).

3. На третьем – определяется максимальный процент отставания по необходимым нормам показателей.

4. На четвертом – определяется номер показателя и наиболее дешевый вид корма, увеличивающий этот показатель.

5. На пятом – по выбранному виду корма происходит наращивание объема фиксированного рациона на 5-15 %.

6. Пункты 3...5 повторяются с новыми значениями вектора фиксированного рациона до достижения границ, рекомендуемых суточными нормами.

Рекомендуемые суточные нормы рассчитываются по базе данных с учетом состояния животных и планируемых надоев. Учитываются, как граничные, рекомендации по минимальной и максимальной дозе каждого вида корма. Количество отдельных кормов специалист может фиксировать. Корма выбираются только в подмножестве, заданном на первом этапе работы.

Двухступенчатый алгоритм достижения баланса кормовой смеси

Нахождение минимума целевой функции в программах ППР (поддержки принятия решений) задача из множества многокритериальных задач – сложная, решаемая только с определенными допущениями и приближениями [6]. Составитель, используя двухступенчатый алгоритм, выполняет действия в два этапа. По результатам проведенного на первом этапе анализа подготавливаются точки финиша и старта. В дальнейшем при приближении к точке финиша учитываются и массивы ограничений на минимальное и максимальное значение части компонентов, а в отдель-

ных случаях и допущение ручной корректировки величин отдельных компонентов.

На первой стадии расчета первого этапа специалистом задаются исходные данные. В качестве исходных данных для расчета рациона коровы учитывается ее масса и удой: суточный – для лактирующих коров и прогнозируемый удой за лактацию – для сухостойных коров.

По известной массе коровы и значению удоя в соответствии с таблицей норм по питательным веществам рассчитываются нормы содержания основных питательных веществ в суточном рационе. Обозначим как вектор $\vec{D} = (D_1, \dots, D_M) = \{D_j\}_{j=1, \dots, M}$ (кг, г, МДж) – требуемую норму суточного потребления коровой j -го питательного компонента, где M – количество учитываемых при оптимизации рациона питательных компонентов.

На второй стадии расчета производится выбор кормов из отображаемого списка всех кормов, имеющих в хозяйстве. Пусть специалистом-зоотехником выбрано N из имеющихся в хозяйстве кормов. Из выбранных N кормов необходимо составить такой рацион кормления, который должен удовлетворить потребности животного в M питательных компонентах в соответствии с требуемыми нормами.

Для математической формализации описанных требований для каждого из включенных в рацион кормов введем следующие обозначения:

α_{ij} (кг/кг, г/кг, МДж/кг) – содержание j -го питательного компонента в 1 кг i -го корма ($i = 1, \dots, N$);

c_i (руб.) – стоимость 1 кг i -го корма;

x_i (кг) – искомое суточное потребление i -го корма.

Вектор $\vec{R} = (\vec{R}_1, \dots, \vec{R}_M) = \{R_j\}_{j=1, \dots, M}$ – есть вектор содержания в рассчитываемом рационе каждого из M питательных компонентов, причем j -й элемент вектора R_j (кг, г, МДж) определяется следующим выражением:

$$R_j = \sum_{i=1}^N \alpha_{ij} \cdot x_i. \quad (1)$$

Тогда относительное отклонение содержания в рационе j -го питательного компонента от суточной нормы его потребления есть разность, деленная на значение суточной нормы, и в векторной форме может быть выражена следующим образом:

$$\vec{\delta} = \left\{ \frac{D_j - R_j}{D_j} \right\}_{j=1, \dots, M}. \quad (2)$$

Таким образом, вектор $\vec{\delta}$ (отн. ед.) есть вектор отклонений питательности рациона от нормы по отдельным питательным компонентам. Чем точнее питательность рациона будет соответствовать требуемым нормам, тем меньше должно быть значение

нормы вектора $\vec{\delta}$. Поэтому в качестве целевой функции предлагается использовать норму вектора $\vec{\delta}$, определяемую как взвешенная сумма модулей его элементов:

$$z(\vec{x}) = \left\| \vec{B} \cdot \vec{\delta}^T \right\| = \sum_{j=1}^M \left| B_j \cdot \frac{\left(\sum_{i=1}^N \alpha_{ij} \cdot x_i - D_j \right)}{D_j} \right|, \quad (3)$$

где $\vec{B} = \{B_j\}_{j=1, \dots, M}$, $B_j \geq 0$, $\sum_{j=1}^M B_j = 1$ – век-

тор нормировочных коэффициентов, значения которых имеют размерность относительных единиц и пропорциональны степени важности отклонений рациона от нормы по тому или иному питательному компоненту. Значения коэффициентов B_j определяются методом экспертных оценок.

Таким образом, математическая формулировка задачи оптимизации рациона имеет следующий вид:

$$\begin{cases} X_{\min i} \leq x_i \leq X_{\max i}, i = 1, \dots, N; \\ \sum_{i=1}^N a_{iCB} \cdot x_i \geq D_{CB}, \\ \sum_{i=1}^N a_{iOЭ} \cdot x_i \geq D_{OЭ}, \end{cases} \quad (4)$$

$\min z(\vec{x})$,

где $X_{\min i}$, $X_{\max i}$ (кг) – начальные ограничения на минимальное и максимальное значение массы i -го корма в суточном рационе, задаваемые при необходимости пользователем;

индексы «CB», «OЭ» – обозначают, соответственно, «сухое вещество» и «обменная энергия».

Приведенная математическая формулировка предполагает, что содержание в рационе сухого вещества и обменной энергии должно быть не меньше дневной нормы, а содержание остальных питательных компонентов будет стремиться к норме таким образом, что **сумма модулей** отклонений от нормы будет минимальна [7]. Решение данной задачи $\vec{X}^* = (x_1^*, \dots, x_N^*)$ представляет собой рацион, сбалансированный по питательности, и является точкой финиша $\vec{F} = (f_1, \dots, f_N)$,

$$\text{где } f_j = \left| B_j \cdot \frac{\left(\sum_{i=1}^N \alpha_{ij} \cdot x_i^* - D_j \right)}{D_j} \right|, \quad j = 1, \dots, M -$$

координаты точки финиша.

Таким образом, на первом этапе реализации алгоритма составитель выполняет следующие действия:

1. определяет набор кормов;
2. определяет по составу стада, планируемого уdoa (по таблице норм) объем показателей контролируемой группы (воксель финиша);
3. решив задачу (4), находим точку финиша

$\vec{X}^* = (x_1^*, \dots, x_N^*)$ с координатами $\vec{F} = (f_1, \dots, f_N)$ и соответствующее ей значение целевой функции (3):

$$z(\vec{X}^*) = \sum_{j=1}^M f_j;$$

4. уменьшается вес кормов на задаваемый коэффициент kz (отн.ед.): $x_i^A = kz \cdot x_i^*$, и, таким образом, уходим в точку старта $\vec{X}^A = (x_1^A, \dots, x_N^A)$ (кг) с координатами $\vec{A} = (a_1, \dots, a_N)$ (отн. ед.), где

$$a_j = \left| B_j \cdot \frac{\left(\sum_{i=1}^N \alpha_{ij} \cdot x_i^a - D_j \right)}{D_j} \right|.$$

Точки A, F (по сути, эллипсоиды) соединены «трубой, точнее каустикой» минимальных расстояний.

На втором этапе выполняем следующие действия:

1. Формируем матрицу величин стоимостных показателей i -го корма – безразмерных чисел, определяемых индексами осей пространства кормов i и

признаков j и равными $p_{i,j} = \frac{w_i}{zen_i}$,

где zen_i (руб.) – стоимость i -го корма весом (объемом) w_i (кг), для которого в базе данных приведена и величина показателя j .

2. Определяем вектор максимальной доли отставания по отображенным показателям

$$I_{mx} = \max_j \left(\frac{f_j - a_j}{f_j} \right).$$

Таким образом, мы переходим в безразмерное пространство приведенных к единице осей.

3. Номер показателя, соответствующий I_{mx} , определяем как рабочий номер показателя r . В целом наиболее правильно оставить несколько показателей, окончательный выбор которых осуществить в операции п. 5;

4. Определяем в матрице кормов, по минимуму стоимости показателя $p_{j,r}$, номер корма

$$i_0 \in \min_i (p_{i,r});$$

5. В случае конкурирующих показателей i_0 – несколько чисел, корм выбирается из максимумов по $i \in mx$, обеспечивающий минимум по наиболее достигнутому (близкому к насыщению) показателю.

6. Добавляем вектор добавки корма $d_j \cdot \delta w_j$, компенсируя долю отставания. Индекс весовой до-

бавки δw_j определяет номер использования добавки j (в текущем цикле итерации равен 1). Если корм не использован в текущем цикле, его весовая добавка приравнивается нулю. Величины добавок сохраняются для корректировки набора кормов, в случае последующей замены, обычно это необходимо при нарушении граничных условий;

7. Предыдущие действия (п.2...п.6) приводят в новую стартовую точку A . Повторяем операции 2...6 до достижения минимума расстояния до точки F .

Поясним ограничения. Наименьшее расстояние в пространстве параметров принадлежит зоне, ограниченной «трубой» минимальных расстояний. Стремление к этой зоне алгоритму присуще. Чем меньше допустимое при-

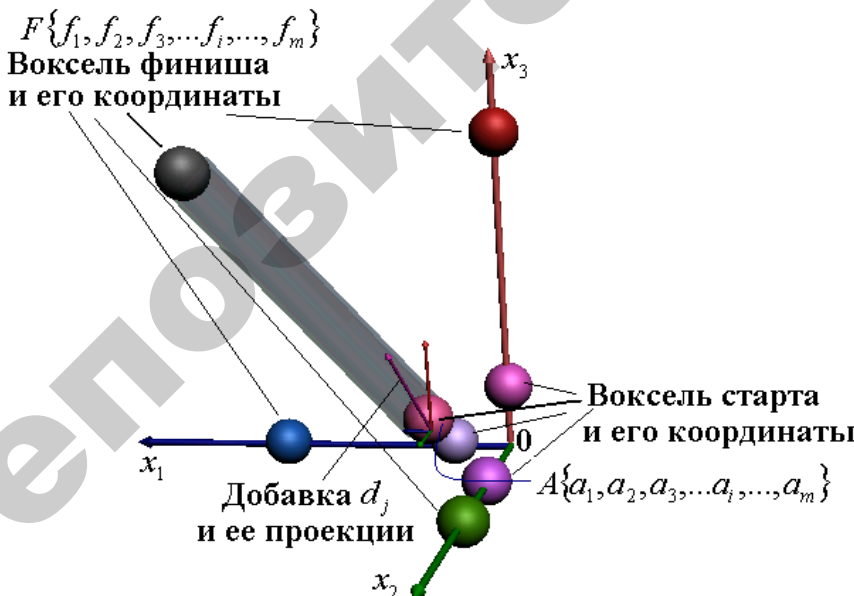


Рисунок 1. Трехмерная часть пространства существования набора кормов

ращение величины добавки, тем менее расстояние до трубы от текущей суммы векторов.

На рис. 2 показано движение в пространстве показателей. Из предыдущего следуют ограничения по каждой из осей пространства $X \in \{x_1, \dots, x_i, \dots, x_m\}$

$$\sum_z x_{i,d_j} \cdot \delta v_{jz} \leq x_{i,F} - x_{i,A},$$

где $z = 1..Z$ номер цикла итерации.

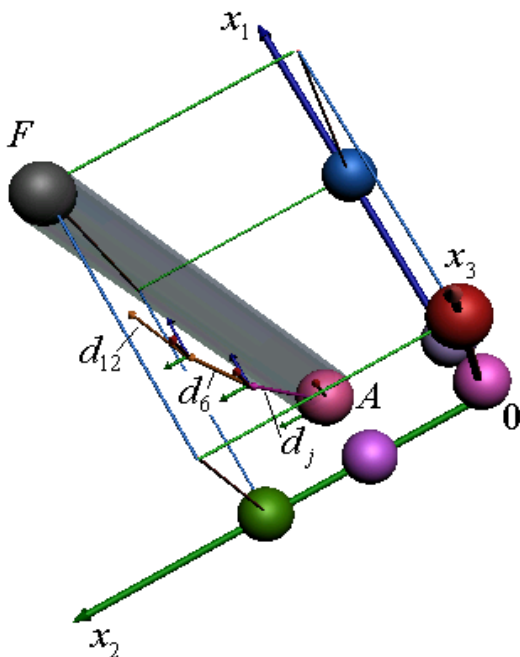


Рисунок 2. Движение в пространстве добавлением кормов

Имеются также и ограничения на минимальную и максимальную величину выдачи итоговой суммы объема каждого корма. За составителем рациона должно оставаться право фиксации объема того или иного типа корма.

Выводы

Поддержка принятия решения в программах балансирования рационов с двухступенчатым алгоритмом оптимизации баланса кормовой смеси выглядит, как интегрирование знаний специалиста и минимизация затрат в допустимых рамках вариации выбранной модели кормления животных.

На первом этапе алгоритма, по выбранной группе показателей (необходимых) кормов обеспечивается минимизация отклонений рекомендуемых суточных норм кормления и формируемого рациона.

Далее в процентном отношении (задаваемым специалистом) уменьшается объем рациона по всем типам корма – фиксированный рацион.

Определяется максимальный процент отставания по необходимым нормам показателей.

По нему определяется номер показателя и наиболее дешевый вид корма, увеличивающий этот показатель.

По выбранному виду корма на 5-15% наращивается объем фиксированного рациона.

Пункты 3...5 повторяются с новыми значениями вектора фиксированного рациона до достижения границ рекомендуемых суточных норм.

Рекомендуемые суточные нормы рассчитываются по базе данных с учетом состояния животных и планируемых надоев. Учитываются, как граничные, рекомендации по минимальной и максимальной дозе каждого вида корма. Количество отдельных кормов специалист может фиксировать. Корма выбираются только в подмножестве, заданном на первом этапе работы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рассел. Искусственный интеллект: современный подход / Рассел, Стюарт, Норвиг, Питер. – 2-е изд.; пер. с англ. – М.: Вильямс, 2006. – 1408 с.
2. T. Wojciech, E. Galushko, O. Rolich, S. Kastyukevich, K. Shestakov, A. Mirilenko. Optimization of process development and support of new machinery. An international journal on operation of farm and agri-food industry machinery «Motrol»- commission of motorization and energetics in agriculture Polish Academy of Sciences Branch in Lublin, 2012, vol. 14, №5, p. 75-78.
3. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах / В.Н. Вагин [и др.]. – М.: Физматлит, 2004. – 712 с.
4. Лукьянов, П.Б. Оптимизация оперативных решений при управлении производством животноводческой продукции. Методическое обеспечение / П.Б. Лукьянов // Материалы 4-й междунар. науч.-практич. конф. «Информационные технологии, системы и приборы в АПК», Новосибирск, 14-15 октября 2009. – С. 32-34.
5. Шестаков, К.М. Теория принятия решений и распознавание образов: курс лекций / К.М. Шестаков. – Мн.: БГУ, 2005. – 184 с.
6. А. Шахиди, И. Андреев. Деревья решений [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа: <http://www.basegroup.ru/library/analysis/description/>. – Дата доступа: 01.03. 2011.
7. Программа интерактивного балансирования рационов молочного стада / Е.В. Галушко [и др.] // Электроника инфо, 2013. – № 7. – С. 36-39.
8. Галушко, Е.В. Программа балансирования рационов на основе экспресс-оценки энергетической питательности кормов для молочного стада / Е.В. Галушко, А.Г. Сеньков, К.М. Шестаков, Н.Ф. Бондарь, А.И. Саханчук. – Свидетельство о регистрации компьютерной программы № 644 от 07.03.2014.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 15.06.2015