

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ



УДК 614.1:631.363

В.В. Садов
V.V. Sadov

ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА КОМБИКОРМОВЫХ АГРЕГАТОВ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

EXPERT EVALUATION OF FORULA FEED MILLS BASED ON FUZZY SETS

Ключевые слова: экспертная оценка, комбикормовый агрегат, критерии оптимизации, метод парных сравнений, коэффициент конкордации.

Выбрать производителю подходящий комбикормовый агрегат из большого наличия существующих агрегатов и цехов на рынке является непростой задачей. Один из способов обоснования оптимального агрегата по определенным критериям является экспертная оценка. Экспертиза позволяет анализировать проблему и давать количественную оценку. Обобщенное мнение экспертов принимается как решение проблемы. Экспертам для оценки были даны 12 проектов комбикормовых агрегатов по 4 критериям. По девятибалльной шкале Саати было проведено парное сравнение агрегатов. Математическая обработка позволила представить полученные результаты в виде степеней принадлежности по каждому критерию. Мнения экспертов имеют расхождения, поэтому их необходимо проверить на согласованность. В данном случае использовали коэффициент конкордации Кендалла. Проверка показала, что согласованность более 95%. С помощью данных степеней принадлежности были получены нечеткие множества по каждому критерию оптимизации. Эти данные дали возможность определить наилучшие агрегаты. Лучшими по критериям W_1 , W_2 и W_4 являются комбикормовые агрегаты u_5 , u_7 , u_8 , u_9 . Это можно объяснить небольшим количеством оборудования, которые выполняют все технологические операции. По критерию W_3 лучше всех заявили о себе комбикормовые агрегаты u_1 , u_2 , u_3 , u_4 . Высокое качество комбикормов можно получить при использовании многостадийного измельчения и весового дозирования компонентов, что и производится на указанных агрегатах. Если рассмотреть указанные агрегаты применительно к отраслям животноводства, то для ферм и комплексов крупного рогатого скота и свиноводческих ферм наиболее подходящими по

загруженности будут проекты u_5 , u_7 , u_8 , u_9 при достаточном качестве комбикорма, а для птицеводческих ферм и фабрик при особо высоком требовании к качеству комбикорма – проекты u_1 , u_2 , u_3 , u_4 .

Keywords: expert evaluation, feed mill, optimization criteria, paired-comparison method, concordance coefficient.

To choose a suitable feed mill from a large availability of existing units and shops on the market is a challenge for a producer. One of the ways to justify the optimal unit according to certain criteria is an expert evaluation. Expert evaluation allows analyzing the problem and giving a quantitative assessment. The generalized opinion of experts is taken as a solution to the problem. The experts were given 12 projects of feed mills to be evaluated according to 4 criteria. Paired-comparison of the units was carried out by a nine-point Saaty scale. Mathematical processing made it possible to present the results obtained in the form of degrees of membership for each criterion. The opinions of experts are divergent, so they need to be checked for consistency. In this case Kendall's concordance coefficient was used. The audit showed the consistency was more than 95%. Using these degrees of membership, fuzzy sets were obtained for each optimization criterion. These data made it possible to determine the best feed mills. The best ones in terms of criteria W_1 , W_2 and W_4 were feed mills u_5 , u_7 , u_8 , u_9 . This can be explained by a small amount of equipment that performs all technological operations. In terms of W_3 criterion, the feed mills u_1 , u_2 , u_3 , u_4 were the best ones. High quality of formula feeds may be obtained by using multi-stage grinding and weighing of components which is done in these units. When we consider these units in relation to livestock sectors, then the projects u_5 , u_7 , u_8 , u_9 with sufficient quality of formula feeds will be the most suitable for cattle and pig farms; and the projects u_1 , u_2 , u_3 , u_4 will be

suitable for poultry farms with their high quality requirements for feeds.

Садов Виктор Викторович, к.т.н., доцент каф. механизации производства и переработки сельскохозяйственной продукции, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-87. E-mail: sadov.80@mail.ru.

Sadov Viktor Viktorovich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Agricultural Production Mechanization and Processing, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-87. E-mail: sadov.80@mail.ru.

Введение

Практика животноводства показывает, что приготовить высококачественные комбикорма в животноводстве можно, используя относительно несложные по составу машин комбикормовые агрегаты. Кроме того, производство комбикормов непосредственно в хозяйствах позволяет снизить себестоимость комбикормов, по сравнению с покупными, за счет использования собственного зернофуража, также уменьшить транспортные расходы. Собственное производство позволяет также менять состав комбикормов, т.е. готовить комбикорм в соответствии с требуемым рационом.

Сегодня рынок предлагает большое количество различных комбикормовых агрегатов и цехов, в комплект которых входит от нескольких машин до нескольких десятков. Поэтому производителю определиться с выбором нужного комбикормового агрегата является непростой задачей.

Цель исследования – дать экспертную оценку комбикормовым агрегатам по исследуемым критериям оптимизации.

Объекты и методы исследований

Комбикормовые агрегаты представляют из себя сложные системы, поэтому задача выбора по строгим математическим методам вообще не решается, поскольку содержит многокритериальность, нечеткость и другие виды неопределенностей.

Одним из приемлемых способов оценки является экспертиза. Сущность метода экспертных оценок заключается в рациональной организации проведения экспертами анализа проблемы с их количественной оценкой и обработкой результатов. Обобщенное мнение группы экспертов принимается как решение проблемы.

В качестве экспертов были выбраны ученые и производственники, компетентные в вопросах приготовления комбикормов, – из Алтайского ГАУ, Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, Министерства сельского хозяйства Алтайского края и Алтайского института повышения квалификации работников АПК.

Рассмотрим сначала основы нечеткого многокритериального анализа вариантов комбикормовых агрегатов [1].

Будем считать известными:

$U = \{u_1, u_2, \dots, u_k\}$ – множество проектов комбикормовых агрегатов, которые подлежат многокритериальному анализу;

$W = \{W_1, W_2, \dots, W_k\}$ – множество критериев, по которым оцениваются проекты.

Применим экспертную оценку для следующих проектов комбикормовых агрегатов:

1) с одноэтапным дозированием конструкции ВНИИКП (проект u_1);

2) с отбором и измельчением крупной фракции конструкции ВНИИКП (проект u_2);

3) конструкции «Росинформагротех» (проект u_3);

4) конструкции ВНИИМЖ (проект u_4);

5) АК-3000 (проект u_5);

6) конструкции «Агромаштехсервис» (проект u_6);

7) «Алтай» конструкции Алтайского ГАУ (проект u_7);

8) «Доза» КК-2 (проект u_8);

9) конструкции Алтайского ГАУ (проект u_9);

10) Р1-БКЗ конструкции Мельинвест (проект u_{10});

11) КОК-5 конструкции НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства (проект u_{11});

12) AGREX Kombinat (Италия) (проект u_{12}).

Описание и технологические схемы этих цехов и агрегатов можно найти в источниках [2-4] и на официальных сайтах компаний «Жаско», «Доза-Агро», «Мельинвест», «AGREX».

Для оценки проектов воспользуемся такими критериями:

W_1 – удельный расход энергии;

W_2 – удельная материалоемкость;

W_3 – качественные показатели работы агрегата;

W_4 – коэффициент готовности.

Задача многокритериального анализа состоит в упорядочивании элементов множества U по критериям из множества W .

Каждый из критериев w_i можно представить по схеме Беллмана-Заде нечетким

множеством \tilde{W} на универсальном множестве вариантов U [1]:

$$\tilde{W}_i = \left\{ \frac{\mu_{w_i}(u_1)}{u_1}; \frac{\mu_{w_i}(u_2)}{u_2}; \dots; \frac{\mu_{w_i}(u_k)}{u_k} \right\}, \quad (1)$$

где $\mu_{w_i}(u_j)$ – степень принадлежности варианта u_j нечеткому множеству \tilde{W} ; $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, k}$.

Находить степень принадлежности нечеткого множества удобно методом построения функции принадлежности на основе парных сравнений. В противном случае, когда сравниваются варианты в целом, картина сравнения очень сложна и начинает ускользать от внимания лица, принимающего решение (ЛПР).

Преимущество одного варианта u_i над другим u_j определяют по девятибалльной шкале Саати: несравнимы – 0; равная важность – 1; умеренное превосходство одного над другим – 3; существенное или сильное превосходство – 5; значительное превосходство – 7; очень сильное превосходство – 9; промежуточные решения – 2, 4, 6, 8.

Результаты парных сравнений представляются в виде квадратной матрицы A , которая имеет свойство обратной симметричности, т.е.: $a_{ji} = 1/a_{ij}$, где индексы i и j элементов матрицы относятся к строке и столбцу соответственно.

Матрица A имеет вид

$$A(w_i) = \begin{matrix} & u_1 & u_2 & u_3 & \dots & u_k \\ \begin{matrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ \dots \\ u_k \end{matrix} & \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1k} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2k} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{3k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{k1} & a_{k2} & a_{k3} & \dots & a_{kk} \end{pmatrix} \end{matrix}. \quad (2)$$

Квадратная матрица имеет такую характеристику, как собственный вектор. Методика его вычисления видна на примере двенадцати компонентной матрицы.

Оценка собственного вектора по строкам

$$\begin{matrix} & u_1 & u_2 & u_3 & \dots & u_{12} \\ \begin{matrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ \dots \\ u_{12} \end{matrix} & \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{112} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{212} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{312} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{121} & a_{122} & a_{123} & \dots & a_{1212} \end{pmatrix} \end{matrix} \rightarrow \begin{matrix} \sqrt[12]{a_{11} \cdot a_{12} \cdot a_{13} \cdot \dots \cdot a_{112}} = b_1 \\ \sqrt[12]{a_{21} \cdot a_{22} \cdot a_{23} \cdot \dots \cdot a_{212}} = b_2 \\ \sqrt[12]{a_{31} \cdot a_{32} \cdot a_{33} \cdot \dots \cdot a_{312}} = b_3 \\ \dots = \dots \\ \sqrt[12]{a_{121} \cdot a_{122} \cdot a_{123} \cdot \dots \cdot a_{1212}} = b_{12} \end{matrix}$$

сумма

Нормализация оценки вектора приоритетов дает оценки степени принадлежности варианта нечеткому множеству:

$$\begin{aligned} \frac{b_1}{\text{сумма}} &= \mu_{w_i}(u_1) \\ \frac{b_2}{\text{сумма}} &= \mu_{w_i}(u_2) \\ \frac{b_3}{\text{сумма}} &= \mu_{w_i}(u_3) \\ &\dots \\ \frac{b_{12}}{\text{сумма}} &= \mu_{w_i}(u_{12}) \end{aligned}$$

Проверка правильности полученных нормализованных оценок вектора приоритетов проводится по формуле:

$$\mu_{w_i}(u_1) + \mu_{w_i}(u_2) + \mu_{w_i}(u_3) + \dots + \mu_{w_i}(u_{12}) = 1.$$

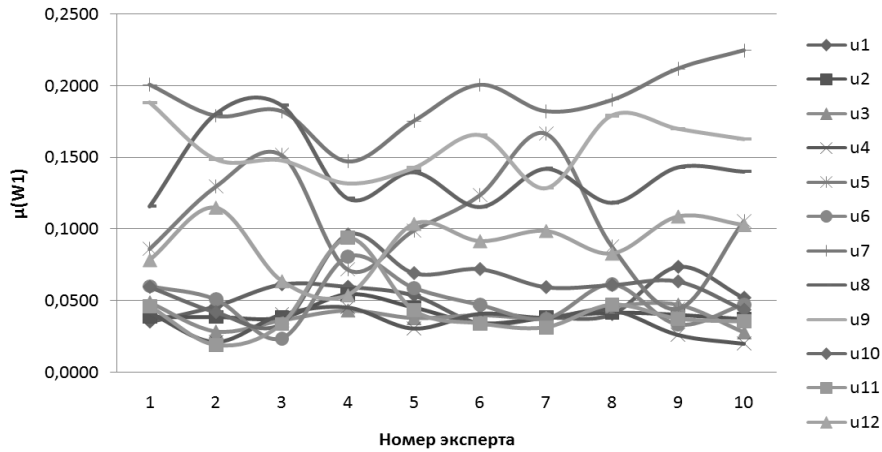
Соответственно, если имеем k вариантов u , то в представленной выше схеме вычисляем корень k -той степени принадлежности $\mu(u)$.

Согласно полученным нечетким множествам W , наилучшим вариантом следует считать тот, у которого наибольшая степень принадлежности:

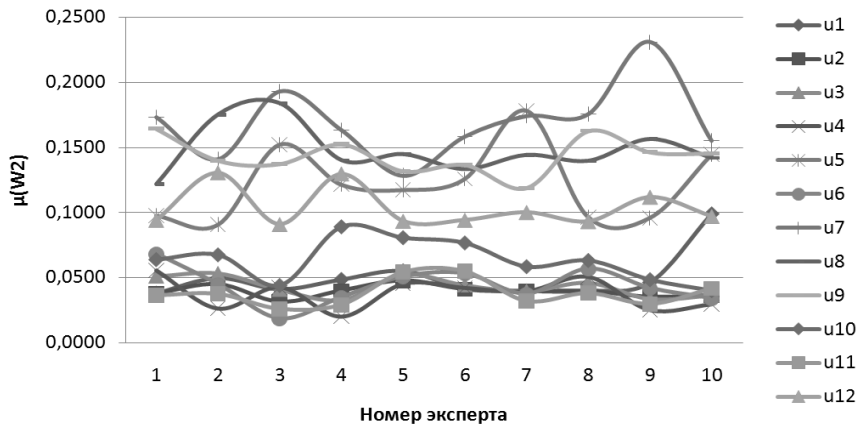
$$W = \arg \max(\mu_w(u_1), \mu_w(u_2), \dots, \mu_w(u_k)).$$

Экспериментальная часть

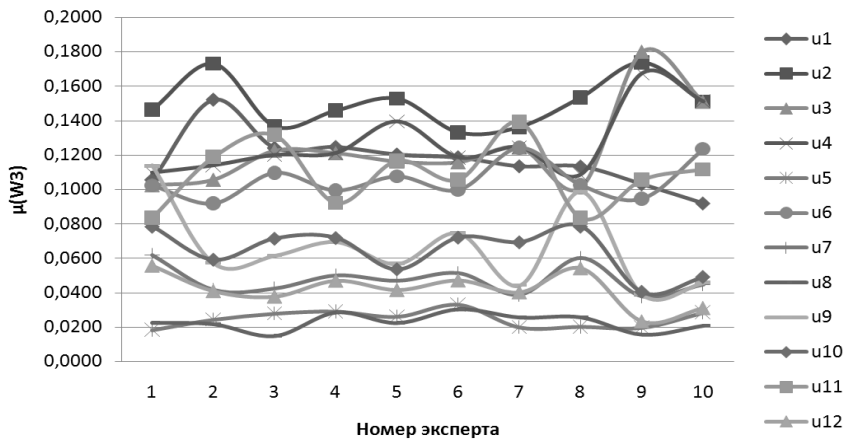
Результаты экспертных оценок комбикормовых агрегатов представлены на графиках (рис.).



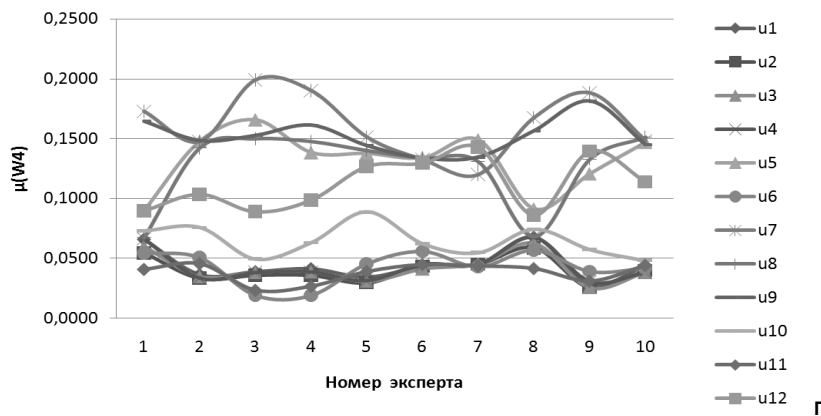
а



б



в



г

Рис. Экспертные оценки, представленные в виде степеней принадлежности: а – для критерия W_1 ; б – для критерия W_2 ; в – для критерия W_3 ; г – для критерия W_4

Данные результаты позволяют утверждать, что эксперты во мнениях расходятся. В этом случае необходимо проверить согласованность мнения экспертов. Оценка согласованности суждений экспертов основывается на использовании понятий компактности, наглядное представление дает геометрическая интерпретация результатов экспертизы [5, 6].

В качестве меры согласованности мнений группы экспертов используется коэффициент конкордации Кендалла (коэффициент согласованности), который определяется по формуле

$$K = \frac{12 \cdot \sum_{i=1}^n D_i^2}{m^2(n^3 - n)}, \quad (3)$$

где n – число оцениваемых объектов;

m – число рангов в последовательностях (число экспертов);

$D_i = d_i - \bar{d}$ – отклонение суммы рангов

i -го объекта $d_i = \sum_{j=1}^m R_{ij}$ от средней суммы

рангов всех объектов $\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i$.

Сумма рангов, представленная всеми экспертами, дана в итоговой таблице (промежуточные таблицы и расчеты не приведены).

Выдвинем гипотезу $K \neq 0$, что мнения экспертов согласуются друг с другом.

Коэффициент конкордации по критериям W_1 - W_4 будет равен:

$$K_{W_1} = \frac{12 \cdot 998,259}{171600} = 0,069; \quad K_{W_2} = 0,068;$$

$$K_{W_3} = 0,046; \quad K_{W_4} = 0,060.$$

Оценим значимость полученных критериев. При количестве исследуемых объектов $n \geq 7$ проверка проводится с помощью критерия Пирсона «хи-квадрат»

$$\chi^2 = m \cdot (n-1) \cdot K.$$

Эмпирическое значение χ^2 для каждого критерия равно:

$$\chi_{W_1}^2 = 10 \cdot 11 \cdot 0,069 = 7,59; \quad \chi_{W_2}^2 = 7,48;$$

$$\chi_{W_3}^2 = 5,06; \quad \chi_{W_4}^2 = 6,6.$$

При 11 степенях свободы табличное значение χ^2 для 5%-ного уровня значимости составит $\chi_{табл}^2 = 19,67$.

Значения $\chi^2 < \chi_{табл}^2$ значит, гипотеза о согласованности мнений экспертов принимается.

Таблица

Расчет суммы рангов по критериям

	W ₁			W ₂			W ₃			W ₄		
	d_i	D_i	D_i^2	d_i	D_i	D_i^2	d_i	D_i	D_i^2	d_i	D_i	D_i^2
u1	11,446	-5,239	27,452	10,454	-5,900	34,812	22,711	7,062	49,873	8,081	-6,893	47,513
u2	8,534	-8,152	66,449	8,147	-8,207	67,353	26,667	11,018	121,391	7,213	-7,762	60,245
u3	8,095	-8,591	73,807	8,570	-7,784	60,592	22,708	7,059	49,835	7,365	-7,610	57,908
u4	7,222	-9,464	89,562	7,101	-9,253	85,618	23,292	7,643	58,412	7,769	-7,205	51,914
u5	21,787	5,102	26,027	24,604	8,250	68,063	4,678	-10,970	120,352	23,625	8,651	74,835
u6	11,219	-5,467	29,887	8,722	-7,632	58,252	19,563	3,914	15,316	7,313	-7,661	58,697
u7	34,642	17,956	322,413	32,100	15,746	247,929	9,666	-5,983	35,799	28,792	13,817	190,920
u8	26,588	9,902	98,059	27,410	11,055	122,222	4,339	-11,310	127,922	22,833	7,859	61,765
u9	30,859	14,173	200,882	27,887	11,533	133,003	13,261	-2,388	5,703	27,625	12,651	160,040
u10	12,132	-4,554	20,742	12,952	-3,402	11,573	13,036	-2,613	6,829	12,283	-2,691	7,243
u11	10,183	-6,502	42,281	7,901	-8,453	71,458	19,633	3,984	15,876	6,757	-8,218	67,531
u12	17,522	0,836	0,699	20,402	4,048	16,384	8,234	-7,415	54,978	20,036	5,062	25,626
Σ	200,230		998,259	196,251		977,259	187,787		662,286	179,691		864,236
d	16,686			16,354			15,649			14,974		

Согласно (1) можно по средним значениям μ записать следующие нечеткие множества:

$$\begin{aligned} \tilde{W}_1 &= \left\{ \frac{0,050}{u_1}; \frac{0,041}{u_2}; \frac{0,039}{u_3}; \frac{0,035}{u_4}; \frac{0,107}{u_5}; \frac{0,050}{u_6}; \frac{0,189}{u_7}; \frac{0,140}{u_8}; \frac{0,156}{u_9}; \frac{0,060}{u_{10}}; \frac{0,042}{u_{11}}; \frac{0,09}{u_{12}} \right\}; \\ \tilde{W}_2 &= \left\{ \frac{0,050}{u_1}; \frac{0,039}{u_2}; \frac{0,043}{u_3}; \frac{0,038}{u_4}; \frac{0,122}{u_5}; \frac{0,044}{u_6}; \frac{0,169}{u_7}; \frac{0,148}{u_8}; \frac{0,143}{u_9}; \frac{0,063}{u_{10}}; \frac{0,038}{u_{11}}; \frac{0,103}{u_{12}} \right\}; \\ \tilde{W}_3 &= \left\{ \frac{0,117}{u_1}; \frac{0,150}{u_2}; \frac{0,124}{u_3}; \frac{0,127}{u_4}; \frac{0,024}{u_5}; \frac{0,105}{u_6}; \frac{0,047}{u_7}; \frac{0,023}{u_8}; \frac{0,066}{u_9}; \frac{0,064}{u_{10}}; \frac{0,109}{u_{11}}; \frac{0,042}{u_{12}} \right\}; \\ \tilde{W}_4 &= \left\{ \frac{0,045}{u_1}; \frac{0,040}{u_2}; \frac{0,041}{u_3}; \frac{0,043}{u_4}; \frac{0,132}{u_5}; \frac{0,043}{u_6}; \frac{0,162}{u_7}; \frac{0,126}{u_8}; \frac{0,152}{u_9}; \frac{0,065}{u_{10}}; \frac{0,038}{u_{11}}; \frac{0,112}{u_{12}} \right\}. \end{aligned} \quad (4)$$

Из (4) следует, что лучшими являются по критериям W_1 , W_2 и W_4 комбикормовые агрегаты u_5 , u_7 , u_8 , u_9 , а по критерию W_3 – комбикормовые агрегаты u_1 , u_2 , u_3 , u_4 .

Выводы

Сложнейшая задача многокритериального выбора решена при помощи экспертной оценки, согласованность которой была проверена с помощью математических методов. В этой методике может присутствовать субъективный фактор, однако по строгим математическим методам данная задача вообще не решается. Экспертная оценка показала, что лучшими по критериям W_1 , W_2 и W_4 являются комбикормовые агрегаты u_5 , u_7 , u_8 , u_9 . Это можно объяснить небольшим количеством оборудования, которые выполняют все технологические операции. По критерию W_3 лучше всех заявили о себе комбикормовые агрегаты u_1 , u_2 , u_3 , u_4 . Высокое качество комбикормов можно получить при использовании многостадийного измельчения и весового дозирования компонентов, что и производится на указанных агрегатах. Если рассмотреть указанные агрегаты применительно к отраслям животноводства, то для ферм и комплексов крупного рогатого скота и свиноводческих ферм наиболее подходящими по загруженности будут проекты u_5 , u_7 , u_8 , u_9 при достаточном качестве комбикорма [7], а для птицеводческих ферм и фабрик при особо высоком требовании к качеству комбикорма подходящими будут проекты u_1 , u_2 , u_3 , u_4 .

Библиографический список

1. Федоренко И.Я. Методологические аспекты использования нечеткого моделирования для выбора технологий и оборудования в животноводстве // Аграрная наука – сельскому хозяйству: матер. Междунар. науч.-практ. конф.: в 3 кн. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2009. – Кн. 1. – С. 241-246.
2. Афанасьев В.А. и др. Руководство по технологии комбикормовой промышленности с основами кормления животных. – Воронеж: ВНИИКП, 2007. – 389 с.
3. Мишуров Н.П. Рекомендуемые технологии производства комбикормов в хозяйствах // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2015. – № 4 (20). – С. 6-14.
4. Федоренко И.Я. Технологические процессы и оборудование для приготовления кормов. – М.: Форум, 2015. – 176 с.
5. Прохоров Ю.К., Фролов В.В. Управленческие решения: учебное пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2011. – 138 с.
6. Орлов А.И. Организационно-экономическое моделирование: учебник: в 3 ч. Ч. 2: Экспертные оценки. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана.– 2011. – 486 с.
7. Федоренко И.Я., Садов В.В. Уточнение номенклатуры сельскохозяйственных предприятий по производству комбикормов (на примере Алтайского края) // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 1 (111). – С. 87-91.

References

1. Fedorenko I.Ya. Metodologicheskie aspekty ispolzovaniya nechetkogo modelirovaniya dlya vybora tekhnologiy i oborudovaniya v zhivotnovodstve // Agrarnaya nauka – selskomu khozyaystvu: materialy mezhdunar. nauch-prakt. konf.: v 3 kn. – Barnaul: Izd-vo AGAU, 2009. – Kn. 1. – С. 241-246.
2. Afanasev V.A. i dr. Rukovodstvo po tekhnologii kombikormovoy promyshlennosti s osnovami kormleniya zhivotnykh. – Voronezh: VNIIP, 2007. – 389 s.
3. Mishurov N.P. Rekomenduemye tekhnologii proizvodstva kombikormov v khozyaystvakh // Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva. – 2015. – № 4 (20). – S. 6-14.
4. Fedorenko I.Ya. Tekhnologicheskie protsessy i oborudovanie dlya prigotovleniya kormov. – М.: Forum, 2015. – 176 s.
5. Prokhorov Yu.K., Frolov V.V. Upravlencheskie resheniya: uchebnoe posobie. – 2-e izd., ispr. i dop. – SPb.: SPbGU ITMO, 2011. – 138 s.
6. Orlov A.I. Organizatsionno-ekonomicheskoe modelirovanie: uchebnik: v 3 ch. – Ch. 2: Ekspertnye otsenki. – М.: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2011. – 486 s.
7. Fedorenko I.Ya., Sadov V.V. Utochnenie nomenklatury selskokhozyaystvennykh predpriyatiy po proizvodstvu kombikormov (na primere Altayskogo kraya) // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2014. – № 1 (111). – S. 87-91.

