

Рис. 2. Сопряжение подмножеств ассоциированной многофакторной модели

В практике животноводства широко используются известные сопряженные признаки, например, количество работников – объем выпускаемой продукции, количество животных – число скотомест и т.д. Другие величины связаны с ними опосредованно, но тем не менее изменение даже одной величины скажется на всех других параметрах подмножества. Спецификация развернутой формы модели с изменяемыми параметрами способствует оптимизации производственных операций с целью поиска и выбора наилучших вариантов.

### **Литература**

1. Мазер К., Джинкс Дж. Биометрическая генетика. М.: Мир, 1985. 463 с.
2. Henderson, C. R. Multiple traits evaluation using relatives' records/ C.R. Henderson, R.L. Quaas. - J. Anim. Sci., 1976, 43: 1188.
3. Сидорова В. Ю., Попов Н. А. Эффективные приемы использования генетических и технологических параметров для увеличения производства молока: монография. п. Дубровицы, 2008. 180 с.

## **МЕТОД ФОРМАЛИЗАЦИИ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК В ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ**

*А. В. Спесивцев, А. И. Сухопаров*  
ГНУ СЗНИИМЭСХ

Сельское хозяйство является отраслью, в которой на производство продукции оказывает влияние большое количество контролируемых и неконтролируемых факторов, переводящих информацию о функционировании отдельных хозяйств и отрасли в целом в разряд трудноформализуемой, что осложняет принятие рациональных решений в технологическом процессе производства продукции [1]. При этом часто используются опыт и знания квалифицированных специалистов, которые выступают в качестве экспертов по различным конкретным вопросам. Однако экспертные оценки являются преимущественно качественными (вербальными), и их нельзя напрямую использовать в количественном виде для создания, например, статистических моделей. Для этого целесообразно осуществлять извлечение и формализацию экспертной информации в виде математических полиномиальных моделей. Демонстрация метода формализации экспертных знаний в принятии

рационального решения осуществлена на примере надоя молока на одну корову за год.

В работе [2] представлена методика формализации неявных экспертных знаний. Вначале эксперт определяет факторное пространство, в котором он принимает решение по данному вопросу. В качестве факторного пространства в данном исследовании экспертом выбраны переменные:  $X_1$  – потенциал земельных угодий;  $X_2$  – кормовой потенциал;  $X_3$  – потенциал животных (коров);  $X_4$  – технологический потенциал;  $X_5$  – погодный потенциал;  $X_6$  – административный потенциал;  $Y$  – обобщенный показатель выхода продукта молока на одну фуражную корову, тыс. л/год. Обобщенный показатель  $Y$  при прогнозировании рассматривается как возможное достижение хозяйством цели (в данном случае – удоев молока на одну корову) в зависимости от значений потенциалов как переменных факторного пространства.

Все переменные факторного пространства должны находиться в пределах определенности, то есть лингвистический уровень «низкий» не является нулевым значением. Значения потенциалов безразмерны и находятся в интервале  $[0, 1]$ . Например,  $X_1$  – потенциал земельных угодий – не может иметь нулевого значения, поскольку это не пустыня, а угодья, земли, дающие сельскохозяйственную продукцию.

Каждый из потенциалов, как и обобщенный показатель надоя молока на одну корову, оценивается в лингвистической форме (рис. 1). Фактически на рис. 1 представлены три шкалы: лингвистическая – в виде словесных выражений (вверху); «арифметизация» – перевод в численную форму надоя молока (ось абсцисс), с определенной субъективной вероятностью изменяющегося в интервале от 0 до 1 (ось ординат); необходимые согласно теории планирования экспериментов крайние точки оппозиционной шкалы «-1» и «+1».

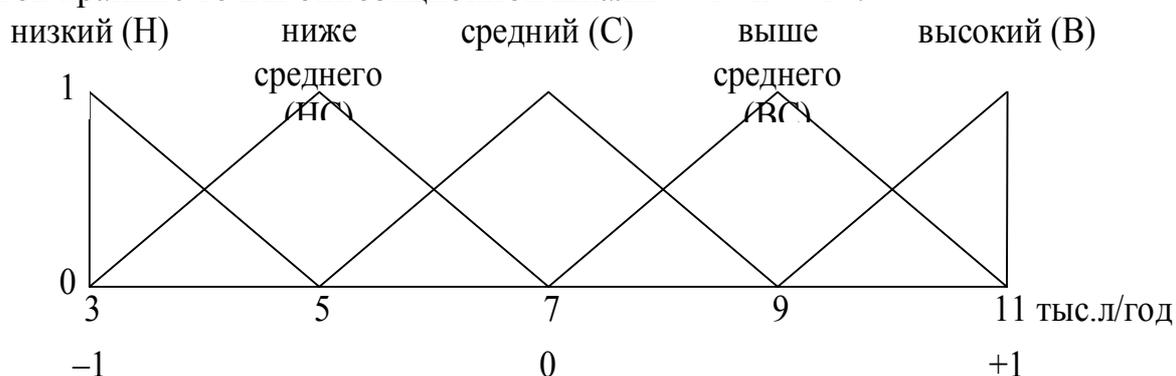


Рис. 1.  $Y$  – обобщенный показатель надоя молока на одну корову как лингвистическая переменная

Поскольку все переменные факторного пространства представлены в стандартизованном масштабе, т.е. приведены к интервалу  $[-1, +1]$ , то в опросной таблице (табл. 1) они принимают только крайние значения, образуя гиперкуб в факторном пространстве [2].

Таблица 1. **Фрагмент опросной таблицы влияния факторов на надой молока (с оценками эксперта)**

		Потенциал земельных угодий	Кормовой потенциал	Потенциал животных	Технологический потенциал	Погодный потенциал	Административный потенциал	Обобщенный показатель выхода продукта
	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	Y
1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	Н
2	1	1	-1	-1	-1	-1	1	Н-НС
...	...	...	...	...	...	...	...	...
12	1	1	1	-1	1	-1	-1	С
13	1	-1	-1	1	1	-1	-1	Н-НС
14	1	1	-1	1	1	-1	1	НС-С
15	1	-1	1	1	1	-1	1	НС-С
...	...	...	...	...	...	...	...	...
31	1	-1	1	1	1	1	-1	ВС
32	1	1	1	1	1	1	1	В

Каждая строка табл. 1 представляет собой продукционное правило [3] имплицативного типа «ЕСЛИ ..., ТО ...». Например, строка 16 в лингвистическом виде читается так: «ЕСЛИ X<sub>1</sub> – потенциал земельных угодий – «высокий» и X<sub>2</sub> – кормовой потенциал – «высокий» и X<sub>3</sub> – потенциал животных – «высокий» и X<sub>4</sub> – технологический потенциал – «высокий» и X<sub>5</sub> – погодный потенциал – «низкий» и X<sub>6</sub> – административный потенциал – «низкий», ТО значение обобщенного показателя выхода молока на одну фуражную корову Y находится в интервале «выше среднего – высокий».

Переведение в числовую меру по рис. 1 экспертных значений после соответствующей обработки заполненной экспертом опросной табл. 1 (последний столбец) позволило получить полиномиальное выражение:

$$\begin{aligned}
 Y = & 6,4688 + 0,2813X_1 + 1,3438X_2 + 0,7813X_3 + 0,8438X_4 + 0,2813X_5 + \\
 & + 0,5313X_6 + 0,1563X_1X_4 + 0,2813X_2X_3 - 0,1563X_2X_4 + \\
 & + 0,1563X_2X_5 - 0,1563X_3X_5,
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где присутствуют только значимые коэффициенты, а все переменные представлены в стандартизованном масштабе.

Расчетные значения и фактические среднегодовые надои молока на корову по различным хозяйствам Ленинградской области представлены в табл. 2.

**Таблица 2. Степень близости расчетных значений и фактических среднегодовых надоев молока в различных хозяйствах Ленинградской области**

Хозяйство	$Y_{рас}$ , кг	$Y_{фак}$ , кг	Ошибка прогноза, %
ФГБУ «Каложницы» Волосовский район	8386	8181	2,51
ОАО «Рассвет» Лужский район	6742	6771	-0,4
ЗАО «Андреевское» Тихвинский район	4969	5075	-2,10

Хозяйство ЗАО «Андреевское», согласно шкале на рис. 2, следует отнести к терму «НС», тогда как ЗАО «Рассвет» – ближе к «С», а хозяйство ФГБУ «Каложницы» – к «ВС». Таким образом, уравнение адекватно описывает удой молока в хозяйствах с различной степенью организации производства.

Поскольку погрешность между расчетными и фактическими значениями не превышает 3%, то однозначно можно констатировать высокую прогностическую способность полинома (1) и считать его моделью среднегодового надоя молока на одну корову Северо-Западного региона. Для применения модели к другим регионам необходима дополнительная статистика по хозяйствам данных субъектов России.

Сложившаяся практика оценивания и особенно прогнозирования деятельности подразделений сельского хозяйства при помощи вероятностно-статистических методов требует, как правило, наличия убедительной статистики. Но среди действующих хозяйств вряд ли найдется несколько одинаковых по своим характеристикам и условиям. Поэтому при сведении показателей различных хозяйств в единую выборку теряется ее репрезентативность, что делает оценку среднего надоя молока на одну корову по региону некорректной. Использование новых аппаратных средств в виде синтеза теории нечетких множеств и планирования экспериментов при извлечении и формализации экспертных знаний позволяет преодолеть формальное требование репрезентативности исходных выборок для повышения достоверности результатов прогноза и при этом учесть многокомпонентную информацию в расчетах.

Предложенный метод целесообразно применять в сельскохозяйственной практике также с позиций создания эффективных моделей для управления сложными процессами (таких как технические приложения). Модели такого рода можно использовать для более глубокого анализа и повышения эффективности сельхозпроизводства в целом. Построенные многофакторные полиномиальные модели вбирают в себя информацию различной физической размерности и природы, в том числе основанную на опыте и интуиции эксперта, что позволяет построить базы знаний для синтеза интеллектуальных систем управления.

### **Выводы**

1. Применение в сельскохозяйственной практике предложенного метода извлечения и формализации экспертных знаний в виде логико-лингвистических

моделей целесообразно для создания прогностических моделей сложных процессов и управления ими.

2. Построенные многофакторные полиномиальные модели тем более предпочтительны к применению в сельском хозяйстве, поскольку вбирают в себя информацию различной физической размерности и природы, в том числе основанную на опыте и интуиции эксперта, что позволяет строить базы знаний для синтеза интеллектуальных систем управления.

3. Высокая прогностическая способность логико-лингвистических моделей, базирующихся на экспертных знаниях, позволяет идентифицировать изменения состояния изучаемых явлений в динамике в выбранном факторном пространстве. Иными словами, такие модели служат инструментом и мониторинга, и эффективного прогноза на заданный период.

4. Предлагаемая методика существенно снижает трудоемкость и экономические затраты при построении моделей, но чаще является единственно возможной в условиях существенной неопределенности сельскохозяйственных производств.

### **Литература**

1. Попов В. Д., Сухопаров А. И. Информационная и структурная модели управления технологиями в растениеводстве // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2010. № 3. С. 7–8.

2. Спесивцев А. В. Управление рисками чрезвычайных ситуаций на основе формализации экспертной информации. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2004. 238 с.

## **МОДЕЛИ МИГРАЦИИ Cu, Zn, Cd В ПОЧВАХ ПРИ ОРОШЕНИИ ГОРОДСКИМИ СТОЧНЫМИ ВОДАМИ<sup>2</sup>**

*А. С. Фрид*

Почвенный институт им. В. В. Докучаева

Сточными являются воды, которые отводятся после использования в бытовой и производственной деятельности человека. Городские сточные воды обычно содержат большое количество тяжелых металлов (ТМ) типа Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, а потому их использование для орошения и удобрения на сельскохозяйственных угодьях может приводить к накоплению в почвах ТМ. Обычно считается, что накопление происходит в основном в пахотном слое, но очень часто городские сточные воды используются на протяжении многих столетий, и загрязнение затрагивает более глубокие слои почвы.

Сведений о параметрах миграции Zn и Cd в почвах (коэффициентах диффузии) в научной литературе представлено немного, особенно относительно кадмия, информации по меди не содержится совсем. Разброс данных значений очень широк: для Zn от  $1 \cdot 10^{-11}$  до  $3 \cdot 10^{-7}$  см<sup>2</sup>/с (в почвенном растворе  $5 \cdot 10^{-6}$ ); для Cd от  $4 \cdot 10^{-11}$  до  $1 \cdot 10^{-8}$  (расчет для порового раствора тех же почв дал от  $1 \cdot 10^{-7}$

---

<sup>2</sup> Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ (проект № 11-04-00651-а)