

ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ ГИБРИДНОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ  
ДЛЯ ЦЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

В.Ф.Армеев, А.В.Лунькова

Управление сложными динамическими объектами требует серьезной информационной поддержки принятия решений (выработки управляющих воздействий) ввиду высокой неопределенности поведения сложной системы. В силу этого вполне оправданными являются попытки применения экспертных систем для целей управления такими объектами. Однако специфика задачи управления предъясняет ряд специальных требований, которым должна удовлетворять такая система. Наиболее важным из них является требование наличия в экспертной системе аппарата достаточно надежного прогнозирования состояний, в которые может быть переведен объект под воздействием управлений и возмущающих воздействий при различных начальных условиях функционирования.

Специфика рассматриваемых в работе объектов управления и я состоит в том, что среди множества состояний, доступных для него, существуют так называемые особые, критические или бифуркационные состояния. Данные состояния чреваты сменой закона движения (поведения) системы, сменой ее структуры, иногда приводящей к разрушению самой системы.

Исходя из этого, одной из наиболее важных проблем при управлении такого рода системами является проблема прогноза и

идентификации возможных бифуркационных состояний системы. В силу сложности рассматриваемых систем, слабой структурированности ряда процессов, происходящих в таких системах, формальное описание функционирования системы в целом крайне затруднено. В этом случае, учитывая динамику и сложность объекта, логично предпринять попытку "разбиения" описания всей системы на две части: одна - формальное (математическое) описание тех процессов, которые достаточно изучены и могут быть идентифицированы некоторым классом математических моделей, другая - неформальное, логическое описание процессов системы слабо изученных, слабо структурированных. Взаимодействие этих описаний представляется возможным реализовать в рамках гибридной экспертной системы.

Таким образом, в основе построения гибридной экспертной системы лежит принцип разбиения описания объекта управления на две части:

1) формальную, которая может быть представлена в виде имитационной модели и отражает динамику развития объекта;

2) логическую (в виде экспертной системы), отражающую условия функционирования и процессы, протекающие в объекте управления, существенно определяющие его поведение, но не формализуемые в рамках имитационной модели.

В частой работе рассматривается разработанная авторами гибридная экспертная система, состоящая из двух основных частей: имитационной модели и собственно экспертной системы, которые представляют собой различные взаимодополняемые описания системы. Имитационная модель является формальным описанием функционирования системы в классе обыкновенных дифференциальных уравнений. Она отражает изменение во времени основных координат состояний системы с учетом существующих взаимосвязей между ними, внешних управляющих воздействий, параметров функционирования. Таким образом, модель позволяет дать прогноз поведения

на "устойчивых" участках развития системы. Но, как правило, все возможные условия возникновения в системе неустойчивых состояний, а тем более, пути выхода из них не поддаются формальному (математическому) описанию в силу слабой изученности этих явлений [1]. Именно описание этой части функционирования сложной системы представлено в виде экспертной системы, которая содержит статистическую информацию о системе и обладает логикой рассуждения и вывода, основанной на базе знаний наиболее квалифицированных специалистов.

В качестве объекта исследования и управления рассматривается биосоциальная система - пчелиная семья. Опуская подробности описания и функционирования системы, отметим лишь, что наиболее ответственным, жизненно важным для этой системы является состояние роения пчелиной семьи. Прохождение системы через это состояние (через эту точку Бифуркации) не может быть формально исследовано в силу недостаточной изученности биологических аспектов, провоцирующих и сопровождающих систему в окрестностях этого состояния. На примере этой системы и этого состояния и построено рассмотрение разработанной экспертной системы.

Пчелиная семья является сложной биосоциальной системой, в функционировании которой можно выделить следующие процессы: выделение воска и строительство сотов, выращивание новых пчел, сбор нектара и пыльцы, накопление кормовых запасов, роение (размножение), зимовка [2]. Развитие пчелиной семьи: воспроизводство пчел, отстройка гнезда, заготовка кормов формализовано в рамках имитационной модели жизнедеятельности пчелиной семьи [3]. Разработанная авторами модель достаточно адекватно описывает динамику изменения основных координат состояний системы, таких как: количество пчел различных возрастов; количество меда, пыльцы; полнота застройки улья. Но в рамках модели невозможно предсказать с приемлемой для практики точностью возникновение неустойчивого, бифуркационного состояния - роения.

Процесс роения описывается в каждом учебнике и монографии по пчеловодству. Тем не менее, в исследованиях биологов нет единства мнений об исходных причинах этого явления. Такая неопределенность объясняется множеством внутренних факторов, к которым относятся состояние семьи и генетические причины, и внешних - условия окружающей среды [4]. В силу этого все возможные условия, а также взаимосвязи между различными характеристиками системы, определяющими возникновение роения, включены в базу знаний экспертной системы.

В данной системе знания представлены в виде правил продукции. Работа системы, использующей эти правила, состоит в том, что левая часть правила оценивается по отношению к набору данных, и если эта оценка соответствует значению ИСТИНА, то выполняется действие, заданное в правой части продукции. Например, правило: "Использование на пасеке неройливых пород пчел, наличие в улье достаточного количества рамок с вошиной в безвзяточное время подавляют инстинкт роения" имеет вид:

```
IF: ((P = 1) OR (P = 2) OR (P = 3) OR (MS = 3) &
      & (V = 1)) & ((S = 1) OR (S = 2) & (RW GE 6))
THEN: IF ROI = FALSE THEN ROI+ = FALSE CF60;
      ELSE ROI- = TRUE CF60;
```

где P - порода пчел (информация получена от пользователя); MS - месяц на момент консультации; V - величина взятка; S - сила семьи; RW - количество рамок с вошиной (информация получена из модели).

Организация взаимодействия системы и модели включает в себя несколько этапов (рис.1):

- 1) изучение входной информации системы, пополнение ее данными, необходимыми для проведения моделирования;
- 2) выявление данных, получаемых в ходе моделирования, определение возможности более полного использования этих

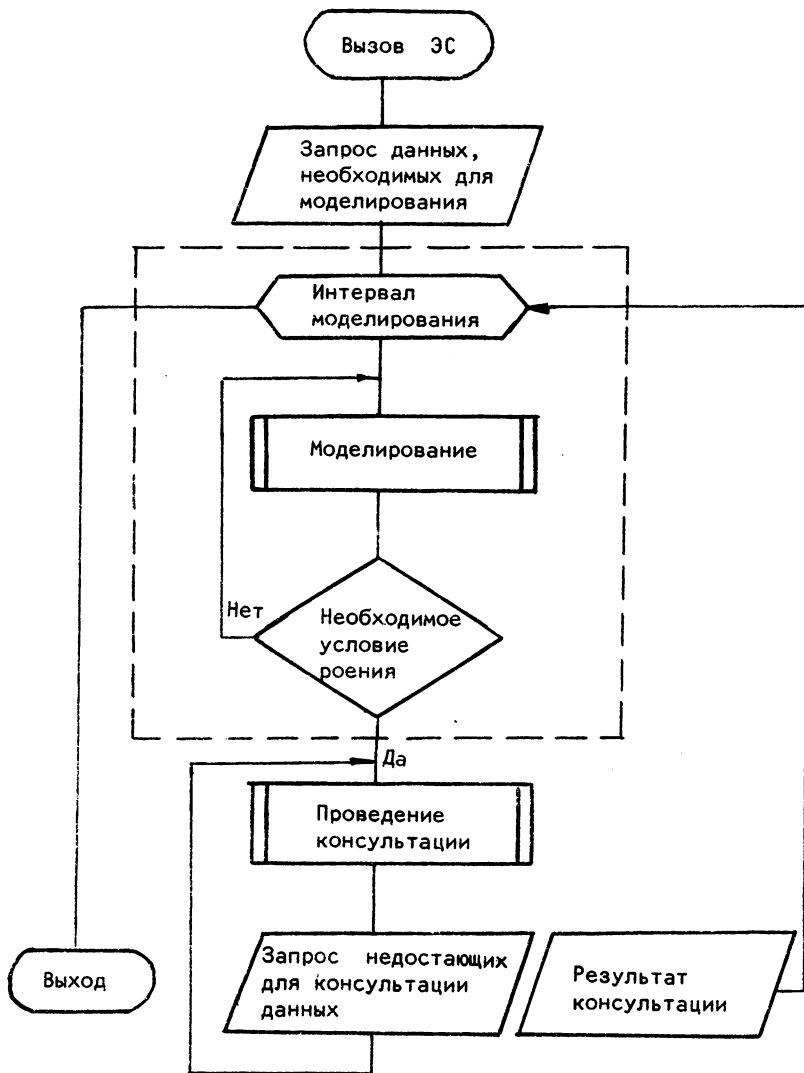


Рис.2. Алгоритм взаимодействия экспертной системы и модели

данных для проведения консультации с экспертной системой;

3) организация обмена данными между системой и моделью.

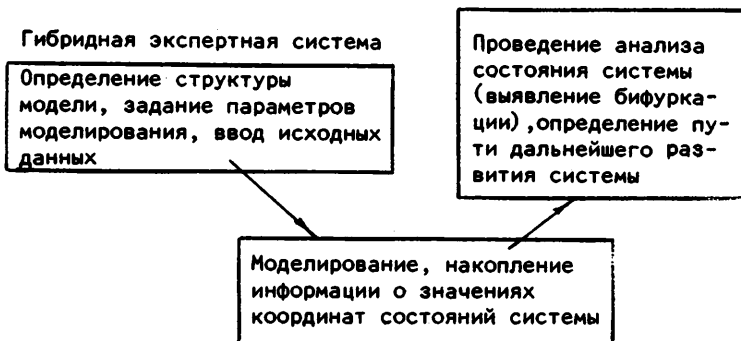


Рис. 1

Подробный алгоритм взаимодействия экспертной системы и модели показан на рис.2.

Для проведения моделирования экспертная система запрашивает исходные данные, представленные на рис.3, затем преобразует их в текстовый файл и передает управление модели. Перед началом моделирования исходная информация из этого файла считывается в переменные модели. В модель включен "блок анализа". Он содержит проверку необходимого условия роения. Таким условием является определенное соотношение между количеством молодых пчел и открытого расплода. На рис.4,а показаны результаты имитационного эксперимента, при котором к 15 июня в системе складывается ситуация, подозрительная на роение, т.е. заданное соотношение выполняется. Поэтому моделирование прерывается и управление передается экспертной системе.

В процессе моделирования создается текстовый файл, содержащий информацию, необходимую для проведения консультации с экспертной системой: текущее время года (месяц); количество рас-

Ульевых пчел	0.00
Печатного расплода	0.00
Личинок	0.00
Яиц	0.00
Меда	18.00
Пыльцы	13.00
Рамок с воиной в улье	0.00

Сила семьи

Меньше 18 тыс.
От 18 до 25 тыс.
От 25 до 50 тыс.
От 50 до 70 тыс.
От 70 до 130 тыс.

Старость сотов

до года
до двух
до трех

Время года

Начало моделирования

Январь
Февраль
Март
Апрель
Май
Июнь
Июль
Август
Сентябрь
Октябрь
Ноябрь
Декабрь

Конец моделирования

Январь
Февраль
Март
Апрель
Май
Июнь
Июль
Август
Сентябрь
Октябрь
Ноябрь
Декабрь

Рис.3. Прогнозирование роения пчелиной семьи

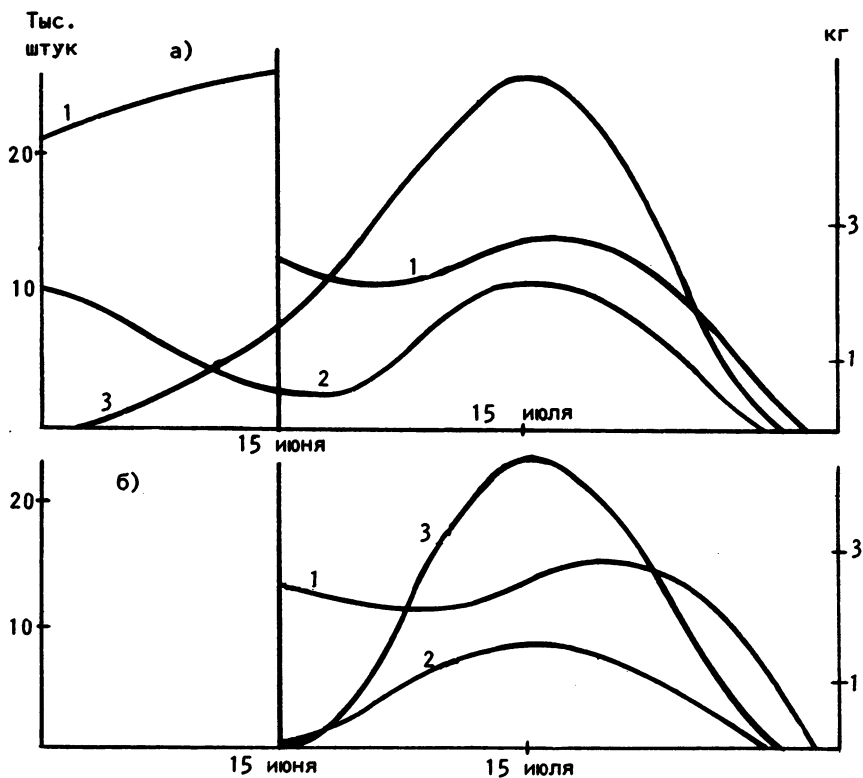


Рис.4. 1 - количество ульевых пчел; 2 - количество яиц; 3 - количество нектара

плода; сила взятка; яйценоскость матки; срок использования сотов; сила семьи; количество рамок с воиной.

В ходе консультации, проводимой экспертной системой, запрашиваются дополнительные данные, которые представлены на рис.5.



Укажите наименование породы пчел

Кавказская Карпатская Итальянская
Среднерусская
Украинская Дальневосточная Краинская

Укажите качество расплода

Плотный
Горбатый Решетчатый

Вентиляция в улье

Меньше 0,2 м/с Больше 0,2 м/с
----------------------------------

Продолжить (да/нет)? Да

Сила ветра

Отсутствует
Слабый Средний Сильный

Число отводков от семьи

Нет отводков
До трех Более трех

Применялось ли подсиливание семей (да/нет)?	Нет
Каков возраст матки?	2,0
Какова температура в улье?	25,0
Затенен ли улей (да/нет)?	Нет
Какова температура окружающей среды?	30,0
Погода дождливая (да/нет)?	Нет
Применяется ли кочевка к медоносам (да/нет)?	Нет

Вероятность роения с уверенностью 92

Конец консультации

Рис.5. Оперативная информация пользователя

В результате консультации выдается решение о возникновении роев (ДА или НЕТ) с коэффициентом уверенности от 0 до 100. Если результат отрицательный (НЕТ), структура системы остается прежней; если положительный (ДА) - экспертная система определяет новую структуру, которую пчелиная семья будет иметь после точки бифуркации. Данные о структуре передаются в модель, моделирование возобновляется, что позволяет дать дальнейший прогноз поведения объекта управления и выявить последующие бифуркационные состояния. На рис.4 показано, что в результате анализа ситуации экспертная система дала заключение о возникновении роев, поэтому, начиная с 15 июня, дан прогноз развития основной семьи (рис.4,а) и роя (рис.4,б).

Данная гибридная экспертная система реализована на IBM PC/AT, XT в среде ИНТЕРЭКСПЕРТ, модель реализована на языке "С".

### З а к л ю ч е н и е

Разработанная авторами гибридная экспертная система лежит в русле так называемых "партнерских систем" [5]. Имитационная модель ограничено дополняет ее недостающей динамической информацией о развитии объекта; в свою очередь экспертная система позволяет определить структуру и поведение объекта на базе неформализуемых данных о его функционировании. Обоснованность применения гибридной экспертной системы, а также качество решения задач управления тем выше, чем больше информационная взаимосвязь между этими двумя частями описания системы.

К сложным системам относятся не только биосистемы, но и экологические, социальные, экономические. Как правило, все они обладают свойством изменять на определенных интервалах развития свою структуру. Использование наряду с экспертными знаниями самого широкого спектра математических моделей (формальных

описаний) объекта управления позволяет в значительной мере снять неопределенность в его поведении. Поэтому предлагаемый подход - построение гибридной экспертной системы - может быть с успехом применен для исследования и управления такими системами.

Данная гибридная экспертная система может быть использована как в области управления для решения задач:

- а) прогнозирования развития семьи и медосбора;
- б) прогнозирования увеличения семей;
- в) выбора оптимальных режимов управления семьей и пасекой

в целом,

так и в области обучения пчеловодству в качестве тренажера:

- а) изучение физиологии пчел;
- б) изучение методов и методик пчеловедения;
- в) изучение и отработка различных зоотехнических приемов.

#### Л и т е р а т у р а

1. АРМЕЕВ В.Ф., ЛУНЬКОВА А.В. К вопросу о применении экспертных систем в управлении сложными динамическими объектами //Тез. докл. Всесоюз. науч.-практ. семинара "Интеллектуальное программное обеспечение ЭВМ".- Ростов-на-Дону-Терскол, 1990. - С.16.
2. Словарь-справочник пчеловода /Сост.Г.Ф.Таранов. - М., 1984.
3. ЛУНЬКОВА А.В., НАЙДЁНОВА Т.С. Имитационная модель динамики роста пчелиной семьи //Тез. докл. XI науч. конф. болгарских аспирантов в СССР с международным участием "Актуальные проблемы современной науки-89".- М., 1989.-С.26.
4. КАШКОВСКИЙ В.Г. Технология ухода за пчелами. - Ново-сибирск, 1989.
5. ЗАГОРУЙКО Н.Г. Партнерские системы //Анализ данных и знаний в экспертных системах. - Новосибирск, 1990.- Вып. 134: Вычислительные системы.- С.3-18.

Поступила в ред.-изд.отд.  
9 марта 1992 года