

УДК 004.896:631.554

## ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗНАНИЙ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ УБОРОЧНОЙ КАМПАНИЕЙ

*А.Н.Шушура, С.М.Селякова,  
ГУИИИ*

### Постановка проблемы.

Необходимым условием успешного проведения уборочной кампании является высокий уровень организации всего комплекса уборочно-транспортных работ, что не может быть осуществлено без заранее проведённого качественного планирования и эффективного оперативного управления. С этой целью разработаны различные информационные и автоматизированные системы управления процессами сбора и транспортировки урожая, однако большинство из них решают задачи учёта или предоставлены для решения частных задач организации уборочной кампании. Поэтому актуальной проблемой является создание интеллектуальной системы управления уборочной кампанией, с помощью которой возможно будет эффективно управлять технологическим процессом с учётом особых условий отдельного предприятия и непредсказуемости внешней среды. Одним из важных этапов создания такой системы является выбор метода представления знаний о проблемной области в базе знаний системы с целью обеспечения согласованности и однозначной их интерпретации.

### Анализ литературных источников.

В системах, основанных на знаниях, наиболее часто используются следующие модели представления знаний: продукционные, семантические сети, фреймы и логика предикатов [1, 2, 3, 4, 5]. В продукционной системе увеличение числа правил уменьшает эффективность её функционирования, что определяет сложность их использования для формализации задачи организации уборочно-транспортных работ с большим числом правил и выводов. Семантическую сеть для представления знаний об уборочной кампании использовать не рационально, так как отличительной её особенностью является невозможность разделить базу знаний и механизм выводов. Теория фреймов позволяет устанавливать высокоуровневые отношения между концептами, что достаточно усложняет проектирование системы и её создание на её основе. Широкую область применения среди способов представления знаний имеет теория логики предикатов. Основным её преимуществом считается использование мощного механизма вывода с хорошо понятными математическими свойствами, который может быть непосредственно запрограммирован. В данной статье предлагается использовать логику предикатов в качестве подхода к решению задачи представления знаний в интеллектуальной системе управления уборочной кампанией.

### Постановка задачи.

Разработать метод представления знаний в базе знаний интеллектуальной системы управления уборочной кампанией.

### Основные результаты исследования.

Для решения поставленной задачи необходимо определить компоненты уборочно-транспортного процесса (проблемной области), формализовать их, выявить отношения различного типа между ними, определить процедуру перехода из одного состояния уборочно-транспортного процесса в другое.

Проблемной областью в нашем случае являются все объекты и события, которые составляют основу формального представления уборочно-транспортного процесса (поля, технические средства, интервалы времени, технологические операции и т.п.). Знания о проблемной области в информационной базе интеллектуальной системы представлены в виде множества *состояний модели системы*. Таким образом, состояние модели уборочно-транспортной системы задано в виде вектор  $\Omega_t$ :

$$\Omega_t = (SZ_t, SY_t, SG_t, SP_t, SW_t, SP_t), t = \overline{0, T} \quad (1)$$

где  $SZ_t$  – состояние полей,  $SY_t$  – состояние уборочной техники,  $SG_t$  – состояние транспортной техники,  $SP$  – состояние зерна на пункте послеуборочной обработки зерна,  $SW_t$  – состояние разгрузочных механизмов,  $SP_t$  – состояние погрузочных механизмов,  $t$  – момент времени смены (минут).

Состояние полей представим в виде вектора (2):

$$SZ_t = (sz_{1t}, sz_{2t}, \dots, sz_{kt}, \dots, sz_{Kt}), t = \overline{1, T} \quad (2)$$

где  $sz_{kt}$  – неубранная площадь  $k$ -го поля, га, которая удовлетворяет условию  $0 \leq sz_{kt} \leq S_k$ ,  $S_k$  – площадь поля,  $K$  – количество полей.

Вектор-состояние уборочной техники в момент времени  $t$  представим в виде (3):

$$SY_t = (sy_{1t}, sy_{2t}, \dots, sy_{it}, \dots, sy_{It}), t = \overline{1, T} \quad (3)$$

где  $sy_{it}$  – состояние, в котором находится  $i$ -ое уборочное средство,  $I$  – общее количество уборочных средств. Функция  $sy_i$  может принимать значения из следующего множества:

$$sy_{it} = \{k, Rem, Rez\}, i = \overline{1, I}, k = \overline{1, K} \quad (4)$$

где  $k$  – номер поля, на котором работает машина,  $Rem$  – состояние ремонта,  $Rez$  – состояние резерва. Состояние транспортной техники характеризуется вектором (5):

$$SG_t = (sg_{1t}, sg_{2t}, \dots, sg_{jt}, \dots, sg_{Jt}), t = \overline{1, T} \quad (5)$$

где  $J$  – общее количество транспортных средств,  $sg_{jt}$  – состояние  $j$ -го транспортного средства в момент времени  $t$ , принимаемое значения из множества:

$$sg_{jt} = \{k, l_r, raz, pogr, Rem, Rez\}, r = \overline{1, R}, t = \overline{1, T} \quad (6)$$

где  $k$  – номер поля, на котором находится транспортное средство;  $l_r$  – номер маршрута, по которому перемещается транспортное средство;  $raz$  – операция разгрузки зерна на пункте послеуборочной обработки зерна,  $pogr$  – операция погрузки зерна на пункте послеуборочной обработки.

Состояние зерна на пункте послеуборочной обработки представим следующим образом:

$$S\Pi_t = (q1_t, q2_t), t = \overline{1, T} \quad (7)$$

где  $q1_t$  – количество необработанного зерна, кг;  $q2_t$  – количество обработанного зерна, кг.

Состояния разгрузочных и погрузочных механизмов представим в виде векторов:

$$SW_t = (sw_{1t}, sw_{2t}, \dots, sw_{st}, \dots, sw_{St}), t = \overline{1, T} \quad (8)$$

$$SP_t = (sp_{1t}, sp_{2t}, \dots, sp_{dt}, \dots, sp_{Dt}), t = \overline{1, T} \quad (9)$$

$$sw_{st} = sp_{dt} = \{F, NF, Rem\}, s = \overline{1, S}, t = \overline{1, T} \quad (10)$$

где состояние  $F$  – показатель проведения операции разгрузки или погрузки зерна,  $NF$  – показатель состояния ожидания механизмом транспортного средства.

С целью построения определённой протоструктуры множества состояний, необходимо установить между ними отношения различного типа. Для описания множества отношений между объектами будем использовать предикаты. Например, то, что уборочное средство  $y_i$  и грузовое транспортное средство  $g_j$  находятся на поле  $z_k$ , можно выразить следующим образом: пусть двуместный предикат  $OnField(x, y)$  отражает факт нахождения некоторого объекта  $x$  на конкретном поле  $y$ . Тогда атомарные формулы  $OnField(y_i, z_k)$ ,  $OnField(g_j, z_k)$  будут являться формальным описанием того, что уборочное средство  $y_i$  и транспортное средство  $g_j$  находятся на поле  $z_k$ . Если же эти формулы входят во множество формул, описывающих некоторое состояние, то мы получим состояние модели системы в определённый момент времени.

Представление некоторых состояний объектов системы, которые имеют размытые границы измерения, было произведено с помощью математического аппарата теории нечётких множеств. Например, к одним из начальных состояний полей, таким как степень и масштаб полеглости хлебов, рационально применить теорию нечётких множеств.

Степень полеглости хлебов  $SP_k$  представим в виде лингвистической переменной, определяемой как кортеж  $\langle X_k^{SP}, T_k^{SP}, Z_k^{SP} \rangle, k = \overline{1, K}$ , где  $X_k^{SP}$  – степень полеглости хлебов (название переменной),

$T_k^{SP} = \{\text{«слабая»}, \text{«умеренная»}, \text{«сильная»}\}$  (терм-множество лингвистической переменной),  $Z_k^{SP} = [0\%, 100\%]$  (универсальное множество, на котором заданы нечёткие переменные).

Масштаб полеглости хлебов  $MP_k$  будет определять лингвистическая переменная  $\langle X_k^{MP}, T_k^{MP}, Z_k^{MP} \rangle, k = \overline{1, K}$ , где  $X_k^{MP} = \text{«степень полеглости хлебов»}$ ,  $T_k^{MP} = \{\text{«очаговый»}, \text{«обшир-»}\}$

ний», «сплошной»},  $Z_k^{MP} = [0\%, 100\%]$ .

Отношения различного типа между объектами системы были заданы в виде ассоциативных связей между ними. Например, установлена ассоциативная связь между характеристиками поля  $SP_k$ ,  $MP_k$  и режимами уборки  $R_1, R_2, R_3$ , где  $R_1$  - режим уборки прямостоящих хлебов,  $R_2$  - режим уборки полеглых хлебов,  $R_3$  - уборка с приспособлениями:

$$\forall z_k \in Z (SP_k = \text{"слабая"}) \wedge ((MP_k = \text{"очаговый"}) \vee (MP_k = \text{"обширный"}) \vee (MP_k = \text{"сплошной"})) \vee ((SP_k = \text{"умеренная"}) \wedge (MP_k = \text{"очаговый"})) \Rightarrow R1, k = \overline{1, K}$$

$$\forall z_k \in Z (SP_k = \text{"умеренная"}) \wedge ((MP_k = \text{"обширный"}) \vee (MP_k = \text{"сплошной"})) \vee ((SP_k = \text{"сильная"}) \wedge (MP_k = \text{"очаговый"})) \Rightarrow R2, k = \overline{1, K}$$

$$\forall z_k \in Z (SP_k = \text{"сильная"}) \wedge ((MP_k = \text{"обширный"}) \vee (MP_k = \text{"сплошной"})) \Rightarrow R3, k = \overline{1, K}$$

Представление ассоциативных связей между объектами в базе интеллектуальной системы производилось не только в виде формул логики предикатов, а также в виде таблиц. Например, ассоциативную связь между полями  $z_k \in Z, k = \overline{1, K}$ , уборочными средствами  $y_i^c \in Y^c, i = \overline{1, I}$  и транспортными средствами  $g_j^c \in G^c, j = \overline{1, J}$  представим в виде таблицы 1. На пересечении строк и столбцов таблицы находятся различные множества  $G_{ki}^c \in G, k = \overline{1, K}, i = \overline{1, I}$ , элементами которых является совокупность транспортных средств  $(\dots, g_j^c, \dots, g_{j+l}^c, \dots), j = \overline{1, J}$ , что по своим техническим характеристикам (емкости кузова и грузоподъемности) могут обслуживать определенное уборочное средство на данном поле.

Таблица 1. Представление ассоциативной связи «поля – уборочные средства – транспортные средства»

Поля	Уборочные средства					
	$y_1^c$	$y_2^c$	...	$y_i^c$	...	$y_I^c$
$z_1$	$G_{11}^c$	$G_{12}^c$	...	$G_{1i}^c$	...	$G_{1I}^c$
$z_2$	$G_{21}^c$	$G_{22}^c$	...	$G_{2i}^c$	...	$G_{2I}^c$
...	...	...	...	...	...	...
$z_{k-1}$	$G_{k-1,1}^c$	$G_{k-1,2}^c$	...	$G_{k-1,i}^c$	...	$G_{k-1,I}^c$
$z_k$	$G_{k1}^c$	$G_{k2}^c$	...	$G_{ki}^c$	...	$G_{kI}^c$
...	...	...	...	...	...	...
$z_K$	$G_{K1}^c$	$G_{K2}^c$	...	$G_{Ki}^c$	...	$G_{KI}^c$

С помощью предиката  $AS(z_k, y_i^c, g_j^c)$ , можно уточнить наличие или отсутствие ассоциативной связи между полями, уборочными и транспортными средствами. Таким образом, существование связи между транспортным средством  $g_j^c$  и уборочным средством  $y_i^c$  на поле  $z_k$  можно определить из выражения:

$$AS(z_k, y_i^c, g_j^c) = \begin{cases} 1, & \text{если } g_j^c \in G_{ki}^c \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (11)$$

Существует также ассоциативная связь между транспортными средствами различного типа (самосвальными или не самосвальными) и устройствами разгрузки. Возможность разгрузки конкретного транспортного средства  $g_j^c, j = \overline{1, J}$  определенным разгрузочным механизмом  $w_s, s = \overline{1, S}$ , т.е. возможность разгрузки самосвальных транспортных средств на эстакаде, а несамосвальных с помощью разгрузочных механизмов, можно охарактеризовать с помощью предиката  $Traz(w_s, g_j^c)$  таким образом:

$$\text{Traz}(w_s, g_j^c) = \begin{cases} 1, & \text{если } w_s \text{ может разгрузить } g_j^c \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (12)$$

Как известно, конструктивным элементом для процесса планирования является *действие*. Действие определяет, какие изменения в модели предметной области произойдут, если действие будет выполнено [6]. В процессе функционирования уборочно-транспортной системы переход из одного состояния системы в другое производится с помощью следующих основных действий: переезд уборочных средств с одного поля на другое, обмолот зерна уборочным средством, выгрузка зерна из бункера уборочного средства в кузов транспортного средства, транспортировка зерна на пункт послеуборочной обработки, разгрузка и погрузка зерна на пункте послеуборочной обработки, обработка зерна (очистка и сушка), транспортировка обработанного зерна на элеватор.

Действия были формализованы с помощью классического метода представления действий в интеллектуальном планировании [6], т.е. каждое действие представлено в виде трёх компонент: имени, предусловия и эффекта. В качестве примера приведём формальное представление действия выгрузки зерна  $q_k$  из бункера комбайна  $y_i$  в кузов транспортного средства  $g_j$  на поле  $z_k$ :

action *LOAD*

precondition:  $\text{OnField}(y_i, z_k) \wedge \text{OnField}(g_j, z_k) \wedge \text{InBunk}(q_k, y_i)$

effect:  $\neg \text{InBunk}(q_k, y_i) \wedge \text{InBunk}(q_k, g_j)$

где *LOAD* – имя действия. Далее описано предусловие, которое является конъюнкцией трёх литералов и декларирует требование, что комбайн  $y_i$  и транспортное средство  $g_j$  должны находиться на поле  $z_k$  и комбайн должен быть наполнен зерном  $q_k$ . Только в этом случае мы можем выполнить это действие. Эффект также является конъюнкцией двух литералов: одного отрицательного и одного положительного. Отрицательный литерал говорит нам, что после того, как действие выполнится, зерно  $q_k$  больше не будет находиться в комбайне  $y_i$ . Положительный литерал декларирует, что объект зерно окажется в транспортном средстве  $g_j$  после выполнения действия *LOAD*. Таким образом, было представлено описание действия, где использовались конкретные объекты. Однако в уборочном процессе участвует большое количество технических средств, что делает достаточно громоздким описание множества возможных действий. Поэтому было решено применить параметризованное описание действий — схемы действий. Схема действия (action schema) — это такая абстракция действия, в которой ряд объектов модели мира, использованных в описании действия, заменяется параметрами [6]. Рассмотрим это на том же примере с выгрузкой зерна из комбайна в транспортное средство:

action *LOAD*(*comb, truck, field, grain*)

precondition:  $\text{OnField}(\textit{comb}, \textit{field}) \wedge \text{OnField}(\textit{truck}, \textit{field}) \wedge \text{InBunk}(\textit{grain}, \textit{comb})$

effect:  $\neg \text{InBunk}(\textit{grain}, \textit{comb}) \wedge \text{InBunk}(\textit{grain}, \textit{truck})$

Здесь слова являются именами параметров схемы. Подставив вместо параметров конкретные объекты, мы получим обычное действие. Таким образом, мы в описании перешли от конкретных объектов к абстрактным понятиям. Подобным образом мы формализуем основные действия (операции), которые свойственны для уборочно-транспортной системы, и такое представление знаний даёт возможность относительно легко моделировать уборочный процесс и выдавать ситуационные решения.

#### **Выводы.**

Рассмотренный метод представления знаний позволяет охватить все основные характеристики уборочно-транспортного процесса и учесть все основные отношения между ними. Предложенная формальная модель предметной области является основой для создания интеллектуальной системы прогноза и управления уборочной кампанией.

#### **РЕЗЮМЕ**

Розглянутий метод представлення знань дозволяє охопити всі основні характеристики збирально-транспортного процесу та врахувати всі основні зв'язки між ними, що є основою для створення інтелектуальної системи управління збиральною кампанією.

**SUMMARY**

The considered method of knowledge representation allows to overcome all basic descriptions of harvesting-transporting process and take into account all basic relations between them, which is the basis for creation of harvesting campaign intellectual control system.

**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Лорьер Ж.-Л. Системы искусственного интеллекта. – М.: Мир, 1991. – 356 с.
2. Люггер Д.Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 864 с.
3. Представление и использование знаний: Пер. с япон. / Под ред. Х. Уэно, М. Исидзука. – М.: Мир, 1989. – 220 с.
4. Войшвилло Е.К., Дегтярев М.Г. Логика: Учебник для вузов. – М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 1998. – 505 с.
5. Ершов Ю.Л., Палютин Е.А. Математическая логика: Учеб. пособие для вузов. – М., Наука, 1987. – 336 с.
6. D. Smith, J. Frank, A. Jonsson. Bridging the gap between planning and scheduling. Knowledge Engineering Review, 15(1):47–83, 2000.

*Надійшла до редакції 28.11.2008 р.*