



ЛИНГВИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ РЕГУЛИРОВКИ КОМБАЙНОВ

Л. В. Борисова, В. П. Димитров*

*ФГБОУ ВО «Донской государственный технический
университет» (г. Ростов-на-Дону, Россия)*

**kaf-gm@donstu.ru*

Введение. В статье рассматривается лингвистический подход к решению задачи технологической регулировки сложных уборочных машин в полевых условиях. Приводится краткая характеристика предметной области. Анализируется место задачи корректировки технологических регулировок рабочих органов зерноуборочного комбайна при выполнении уборочных работ. Выделяется 3 группы признаков рассматриваемой задачи: внешние признаки нарушения качества работы, регулируемые параметры машины и параметры технического состояния. Приводятся численные данные, характеризующие взаимосвязи между внешними признаками и параметрами машины.

Материалы и методы. Зернокомбайн является сложной динамической системой, функционирующей при постоянно меняющихся внешних условиях. Этот факт обуславливает характерные особенности используемых методов технологической регулировки. В статье рассматриваются некоторые отличительные черты задачи принятия решений. При управлении технологическим процессом комбайновой уборки используется как количественная информация, так и качественная. Наличие различных видов неопределенности при рассмотрении семантических пространств факторов внешней среды и параметров машины позволяет предложить для решения задачи метод технологической регулировки, основанный на нечетком логическом выводе.

Результаты исследования. В результате анализа методология принятия решений в нечетких условиях среды адаптирована к изучаемой предметной области. Предлагается обобщенная схема нечеткого управления процессом технологической регулировки машины. Рассматриваются модели изучаемых семантических пространств. Показывается целесообразность использования дедуктивного и индуктивного вывода решений для различных задач предварительной настройки и корректировки технологических регулировок. Предлагается формально-логическая схема процесса принятия решений, основанного на нечетких экспертных знаниях. Данная схема включает основные этапы решения задачи: фазификацию, композицию и дефазификацию. Рассматривается вопрос количественной оценки согласованности экспертных знаний. Приводятся примеры формулировки нечетких продукционных правил база знаний, а также характерные особенности алгоритма корректировки технологических регулировок.

Обсуждение и заключения. Представленный лингвистический подход к решению задачи технологической регулировки машин позволяет обеспечить адекватность описания реальных условий уборки, учет как количественной информации, так и эвристических данных. Модель предметной области служит основой для создания базы знаний и механизма вывода решений интеллектуальной системы поддержки принятия оператором решений при функционировании комбайнов.



Ключевые слова: технологическая регулировка машины, нечеткие экспертные знания, лингвистическое описание, нечеткий логический вывод, фаззификация, композиция, дефаззификация

Для цитирования: Борисова Л. В., Димитров В. П. Лингвистический подход к решению задачи технологической регулировки комбайнов // Вестник Мордовского университета. 2017. Т. 27, № 2. С. 178–189. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201702.178-189

A LINGUISTIC APPROACH TO SOLVING OF THE PROBLEM OF TECHNOLOGICAL ADJUSTMENT OF COMBINES

L. V. Borisova, V. P. Dimitrov*

Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russia)

kaf-qm@donstu.ru

Introduction. The article deals with a linguistic approach to the technological adjustment of difficult harvesters in field conditions. The short characteristic of subject domain is provided. The place of the task of adjustment of the combine harvester working bodies in harvesting is considered. Various groups of signs of the considered task are allocated: external signs of violation of quality of work, regulated parameters of the machine, and parameters of technical condition. The numerical data characterizing interrelations between external signs and parameters of the machine are provided.

Materials and Methods. A combine harvester is the difficult dynamic system functioning under constantly changing external conditions. This fact imposes characteristics on the used methods of technological adjustment. Quantitative and qualitative information is used to control harvesting. Availability of different types of uncertainty in considering semantic spaces of factors of the external environment and parameters of the machine allows offering the method of technological adjustment based on an indistinct logical conclusion for the solution of the task.

Results. As the analysis result, the decision making methodology for indistinct environment conditions is adapted for the studied subject domain. The generalized scheme of indistinct management of process is offered to technological adjustment of the machine. Models of the studied semantic spaces are considered. Feasibility of use of deductive and inductive conclusions of decisions for various tasks of preliminary setup and adjustment of technological adjustments is shown. The formal and logical scheme of the decision making process based on indistinct expert knowledge is offered. The scheme includes the main stages of the task solution: fuzzification, composition and defuzzification. The question of the quantitative assessment of expert knowledge coordination is considered. The examples of the formulation of indistinct production rules, the knowledge base, and characteristics of an algorithm for adjusting of technological adjustments are given.

Discussion and Conclusions. The linguistic approach to a technological adjustment of machines provides adequacy of the description of real conditions of cleaning, accounting both quantitative information and heuristic data. The model of subject domain the basis for creation of the knowledge base and the mechanism for concluding provides solutions of the intellectual system of decision support by the operator when the functioning of combines.

Keywords: technological adjustment of machine, indistinct expert knowledge, linguistic description, indistinct logical conclusion, fuzzification, composition, defuzzification

For citation: Borisova L. V., Dimitrov V. P. A linguistic approach to solving of the problem of technological adjustment of combines. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2017; 2(27):178-189. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201702.178-189

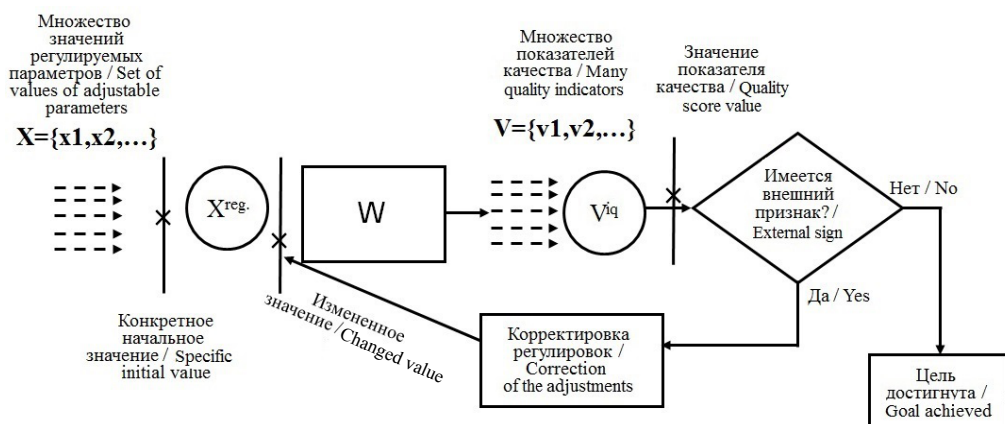
Введение

Создание и внедрение машин нового, интеллектуального типа – превалирующая компонента стратегии развития сельскохозяйственного машиностроения в Российской Федерации [1]. Зернокомбайн является основной машиной, используемой при уборке многих зерновых культур. Результативность и эффективность уборочных работ напрямую зависит от оптимального решения задачи управления технологическим процессом комбайновой уборки¹.

Потери зерна и невысокая сменная производительность комбайна часто обусловлены непроизводительными затратами, связанными с необходимостью технологической регулировки рабочих органов машины. В полевых условиях достаточно трудно оценить

конкретные значения внешних факторов, влияющих на технологический процесс, а также своевременно обнаружить их изменение². Этот факт обуславливает неправильный выбор рациональных начальных значений регулируемых параметров и параметров технического состояния.

Затруднено также определение точечных значений показателей качества функционирования комбайна. Низкая компетентность оператора часто не позволяет прогнозировать возможные нарушения и определять их причину при обнаружении. Целесообразность корректировки значений технологических параметров комбайна в полевых условиях в основном обусловлена вариабельностью значений факторов внешней среды (рис. 1).



Р и с. 1. Схема взаимосвязи задач настройки и корректировки регулируемых параметров машины в полевых условиях

F i g. 1. Scheme of interrelation of problems of control and adjustment of regulated parameters of the car in field conditions

¹ Технологические операции и технические средства для современных технологий агропромышленного комплекса : монография / Л. В. Борисова [и др.]. Ростов-на-Дону : Издательский центр ДГТУ, 2012. 158 с. URL: <http://ntb.donstu.ru/content/tehnologicheskie-operacii-i-tehnicheskie-sredstva-dlya-sovremennyh-tehnologiy-agropromyshlennogo-kompleksa>

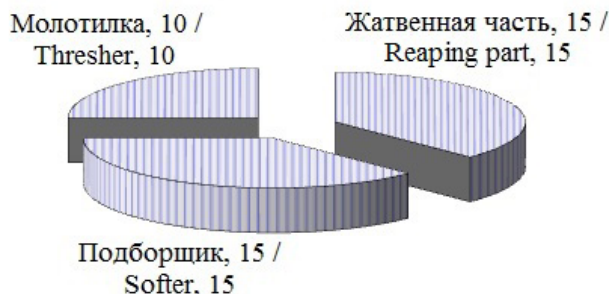
² Рыбалко А. Г. Особенности уборки высокоурожайных зерновых культур (настройка и регулировка машин) : учеб. пособие. М. : Агропромиздат, 1988. 118 с. URL: <http://search.rsl.ru/record/01001410620>



Анализ задачи принятия решений по корректировке значений регулировок показал целесообразность учета двух групп параметров: 1) параметры, значения которых должны быть постоянными (заложенными конструкторами); 2) параметры, значения которых изменяются в зависимости от внешних факторов и, следовательно, при

обнаружении отклонений показателей качества работы (различные виды потерь зерна, дробление, засоренность бункерного зерна и др.).

В результате идентификации технологического процесса комбайновой уборки было выявлено 40 внешних признаков нарушения данного процесса для основных агрегатов комбайна (рис. 2).



Р и с. 2. Количество внешних признаков отклонений показателей качества работы для основных агрегатов комбайна

F i g. 2. Number of external signs of indicators deviations of works quality for the main units of the combine

Нахождение причины отклонения показателя качества от допустимого (рационального) значения является важной задачей. При этом необходимо

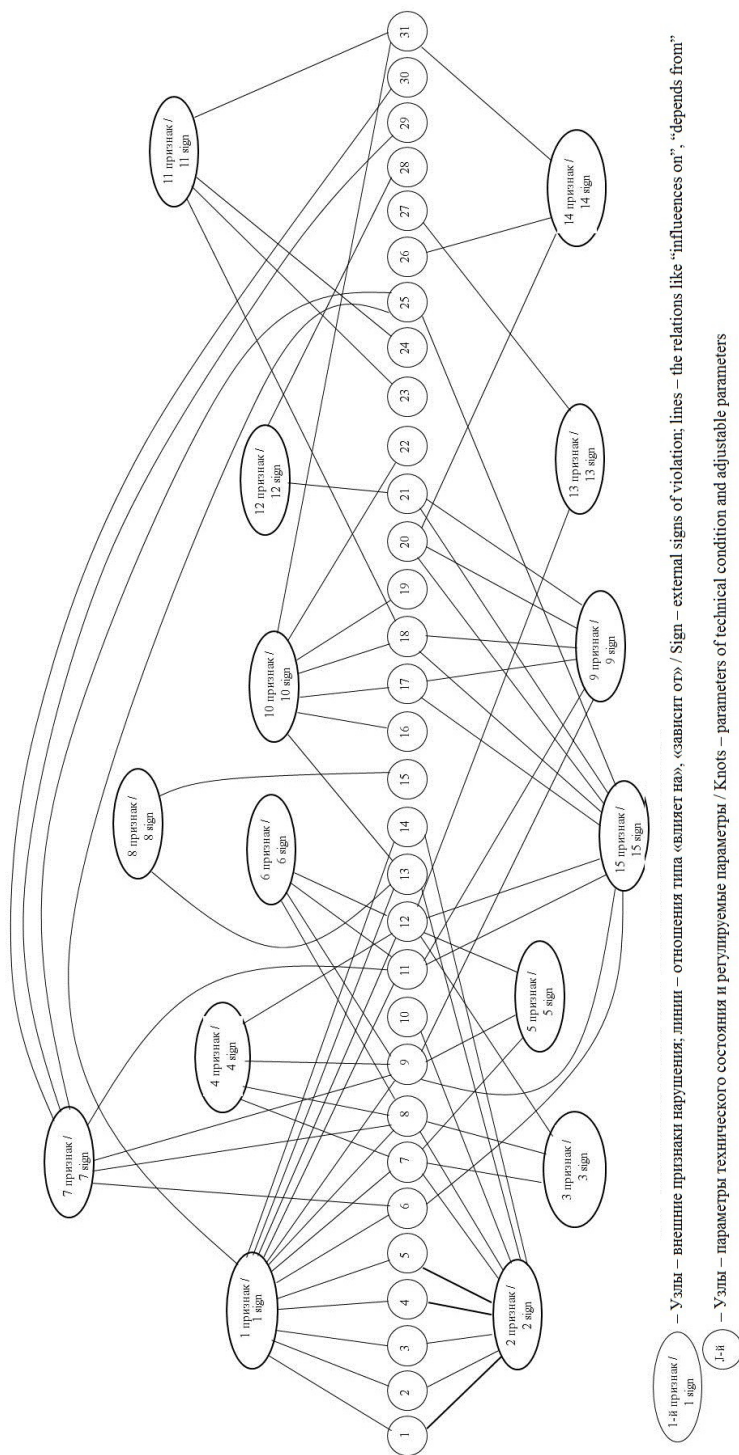
принимать во внимание влияние как регулируемых параметров, так и параметров технического состояния машины (таблица).

Т а б л и ц а

T a b l e

Количество параметров рабочих органов комбайна
Number of working tool parameters of the combine

Параметры / Parameters	Агрегаты комбайна / Combine units		
	Жатвенная часть / Reaping part	Подборщик / Sorter	Молотилка / Thresher
Регулируемые / Regulated	31	23	24
Технического состояния / Technical condition	13	14	14
Среднее количество параметров на один внешний признак нарушения / Average of parameters on one external sign of violation	5	5	6



Р и с. 3. Фрагмент семантической сети предметной области
F i g. 3. Fragment of subject domain semantic network



На рис. 3 приведена семантическая сеть взаимосвязей внешних признаков нарушения качества технологического процесса с параметрами жатвенной части. Наименования узлов сети (в круглых и овальных блоках) см. в работе¹.

Материалы и методы

На основе анализа можно выделить отдельные группы методов регулирования зернокомбайна: основанные на вербальных моделях; на математических моделях; использующие смешанные виды представления знаний; отличающиеся полнотой охвата предметной области и реализацией управляющих воздействий [2].

Поскольку зернокомбайн является сложной динамической системой, функционирующей в условиях, характеризующихся изменчивостью и неопределенностью внешней среды, то центральной задачей управления этой системой является процесс принятия решений (ПР).

В нашем случае задача ПР по технологической регулировке содержательно формулируется следующим образом: имеется непустое множество вариантов решения задачи, причем реализация каждой альтернативы характеризуется определенным исходом, оценивание которого по установленным критериям достаточно полно характеризует альтернативу. Требуется на основании предпочтения лица, принимающего решение (ЛПР), построить модель проблемной области, а на ее основе – осуществить выбор альтернативы, лучшей в заданном (конкретном) смысле [3].

Анализ взаимосвязей между входными и выходными признаками позволяет установить значения искомым параметров на основе модели предпочтений ЛПР и назначенного критерия эффективности.

В ходе исследования была сформулирована задача конструирования процедур ПР на основе исходной нечеткой информации.

Задача технологической регулировки рабочих органов комбайна – это задача ПР в нечеткой среде, которая характеризуется наличием отношений между признаками с размытыми границами, а также высказываний с различной степенью истинности.

Задач ПР может быть формализована короткежем³ вида:

$$\langle A; X; K; f; P_s; D; T \rangle, \quad (1)$$

где A – множество вариантов; X – множество исходов; K – критерий оценки полученных исходов; f – отображение множества X в множество векторных оценок; P_s – структура предпочтений ЛПР.

Необходимо найти решающее правило (алгоритм D), позволяющее производить требуемое действие T над совокупностью альтернатив A .

Результаты исследования

Основные положения методологии ПР адаптированы для рассматриваемой проблемной области. Для повышения эффективности функционирования комбайнов во время уборочных работ нами был разработан метод технологической регулировки, отличительной особенностью которого является наличие компоненты информационной поддержки оператора (рис. 4).

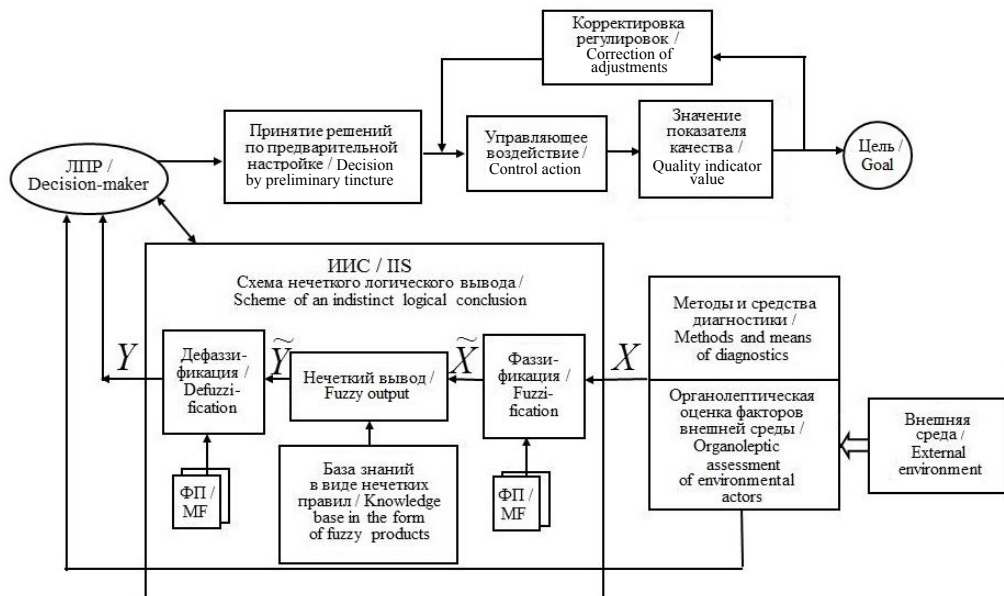
Особенность метода состоит в использовании технологии инженерии знаний (экспертных систем), практически реализованной в виде интеллектуальной информационной системы. При применении данного метода центральной научной проблемой является формальное представление (формали-

³ Борисов А. Н., Алексеев А. В., Меркурьева Г. В. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. М. : Радио и связь, 1989. 394 с. URL: <http://www.twirpx.com/file/867049>

зация) знаний изучаемой предметной области, основанное на использовании математического аппарата теории нечетких множеств.

Рассматривая комбайн как динамическую нечеткую систему, необхо-

димо отметить, что ее составляющие представляют собой 3 взаимосвязанных объекта, характеризующиеся определенной структурой и заданным множеством выходных и входных признаков.



Р и с. 4. Архитектура системы технологической регулировки на основе нечеткого управления (ФП – базы данных, содержащие численные значения функций принадлежности)

F i g. 4. The system architecture of technological regulation based on indistinct control (FP – databases containing numerical values of functions of accessory)

При рассмотрении и анализе этих объектов целесообразно сформулировать типы задач для функционирования зернокомбайна во время уборки. Две из четырех основных задач (предварительная настройка комбайна и корректировка регулировок) представляются наиболее важными. Для решения первой необходимо наличие модели отношений «внешний фактор» – «регулируемый параметр»; для второй – «регулируемые параметры» – «показатели качества работы комбайна». В качестве исхода при решении задачи настройки выступают начальные

конкретные (численные) значение параметров рабочих органов; при корректировке регулировок – нахождение нового значения регулируемого параметра, приводящее к устранению внешнего признака нарушения технологического процесса.

На основе лингвистического подхода к изучению сложных систем [4–5] нами были разработаны модели признаков X , Y , V (факторов внешней среды, регулировочных параметров и показателей качества работы комбайна) в виде семантических пространств и соответствующих им функций принадлежности:



$$\left\{ \begin{array}{l} \{X_i, T(X_i), U, G, M\}, \\ \{Y_j, T(Y_j), U, G, M\}, \\ \{V_k, T(V_k), U, G, M\}, \end{array} \right. \left| \begin{array}{l} m_R(x_1, x_2, \dots, x_i) \in (0; 1), \\ m_R(y_1, y_2, \dots, y_j) \in (0; 1), \\ m_R(v_1, v_2, \dots, v_k) \in (0; 1). \end{array} \right.$$

Обобщенная модель предметной области «технологическая регулюровка» была представлена в виде композиции нечетких отношений рассматриваемых семантических пространств:

$$R_1 \circ R_2 \text{ для } \forall x \in X; \forall y \in Y; \forall v \in V$$

$$\mu_{R_1 \circ R_2}(x, v) \vee (\mu_{R_1}(x, y) \wedge m_{R_2}(y, v)), \quad (2)$$

где R_1 – нечеткое отношение «факторы уборки – параметры регулюв-

ки», $R_1: \{X_i, T(X_i), U, G, M\} \times \{Y_j, T(Y_j), U, G, M\}$; $\forall (x, y) \in X \times Y$; R_2 – нечеткое отношение между регулюровочными параметрами и показателями качества работы комбайна, $R_2: \{Y_j, T(Y_j), U, G, M\} \times \{V_k, T(V_k), U, G, M\}$; $\forall (y, v) \in Y \times V$.

Рассматриваемые задачи предварительной настройки и корректировки технологических регулюровок целесообразно решать на основе дедуктивного и индуктивного вывода решений⁴:

Дедуктивный вывод

ЕСЛИ A, ТО B;

A – истинно;

B – истинно.

Индуктивный вывод

ЕСЛИ A, ТО B;

B – истинно;

A – более правдоподобно.

(3)

В рассматриваемом случае посылка A и следствие B – высказывания (факты), характеризующие состояние динамической системы и внешней среды в процессе ПР.

Рассмотрим формально-логическую схему процесса ПР на основе анализа нечеткой экспертной информации (эвристик).

1. Определение множеств значимых внешних факторов, регулируемых параметров и показателей качества работы (соответственно):

$$\begin{array}{l} X \in \{x_1, x_2, \dots, x_n\}, Y \in \{y_1, y_2, \dots, y_k\}, \\ V \in \{v_1, v_2, \dots, v_k\}. \end{array}$$

2. Описание лингвистических переменных (ЛП), характеризующих множество факторов внешней среды,

регулируемых параметров и показателей качества работы (соответственно).

3. Определение базовых терм-множеств для всех ЛП. В общем случае базовое терм-множество ЛП имеет вид [6]:

$$T_i = \{T_1^i, T_2^i, \dots, T_m^i\}, \quad (i \in K = \{1, 2, \dots, l\},$$

где $\langle T_i, X; \tilde{C}_i \rangle$ – нечеткая переменная, соответствующая терму $T_i \in T$; $\tilde{C}_i = \{\mu_{C_i}(x) / x\}$ $x \in X$; C_i – носитель нечеткого множества $\tilde{C}_i$; $\mu_{C_i}(x)$ – функция принадлежности (ФП).

Базовое терм-множество образуется на основе экспертных суждений.

4. Выбор метода построения ФП⁵.

5. Проверка выполнения требований к построению ФП и определение оптимального количества термов с целью адекватного пред-

⁴ Малышев Н. Г., Берштейн Л. С., Боженюк А. В. Нечеткие модели для экспертных систем в САПР. М. : Энергоатомиздат, 1991. 136 с. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=23793665>

⁵ Борисова Л. В., Димитров В. П. Формализация нечетких экспертных знаний при лингвистическом описании технических систем. Ростов-на-Дону : Издательский центр ДГТУ, 2011. 209 с. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=19464767>

ставления признаков предметной области [6].

6. Определение степени нечеткости рассматриваемых полных ортогональных семантических пространств⁵.

7. Количественная оценка согласованности экспертной информации.

Данная согласованность определяется по нескольким критериям. Для моделей двух экспертов (i -го и j -го) показатель различия в рамках l -го термина вычисляется как расстояние Хемминга между нечеткими множествами с функциями принадлежности $\mu_{il}(x)$ и $\mu_{jl}(x)$ [7]:

$$d = \int_0^1 |\mu_{il}(x) - \mu_{jl}(x)| dx. \quad (4)$$

Аддитивный (5) и мультипликативный (6) показатели общей согласованности множества моделей экспертного оценивания определяются следующим образом:

$$k = \frac{1}{m} \sum_{l=1}^m \frac{\int_0^1 \min_{\forall i=1,2,\dots,k} \mu_{il}(x) dx}{\int_0^1 \max_{\forall i=1,2,\dots,k} \mu_{il}(x) dx}, \quad (5)$$

$$\tilde{k} = \sqrt[m]{\prod_{l=1}^m \frac{\int_0^1 \min_{\forall i=1,2,\dots,k} \mu_{il}(x) dx}{\int_0^1 \max_{\forall i=1,2,\dots,k} \mu_{il}(x) dx}}. \quad (6)$$

8. Получение искомого решения на основе нечеткого вывода состоит из реализации определенных этапов (см. рис. 4):

– фазификация, предназначенная для перевода признаков задачи в нечеткие множества A_i для последующего использования на этапе композиции [8];

– дефазификация, предназначенная для перевода полученных нечетких множеств B_j в вектор четких значений регулируемых параметров $\bar{y}$ [9];

– база знаний экспертной системы, представляющая собой множество правил нечетких продукций с посылкой (А) и следствием (В) [7]:

$$R^{(k)} : A^k \rightarrow B^k, \quad k = \overline{1, r},$$

где r – число нечетких правил; k – номер правила; A^k и B^k – нечеткие множества такие, что:

$$\begin{aligned} A^k &= A_1^k \times A_2^k \times \dots \times A_n^k & A_i^k &\subseteq X_i; \\ B^k &= B_1^k \times B_2^k \times \dots \times B_m^k & B_j^k &\subseteq Y_j, \end{aligned}$$

где X_i и Y_j – семантические пространства входных и выходных признаков соответственно, при этом $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$;

Получение конкретного решения предусматривает выполнение определенной последовательности действий:

– построение обобщенной лингвистической переменной на множестве входных признаков, влияющих на значение выходного признака (т. е. агрегация левых частей правил);

– вычисление функций принадлежности для обобщенной лингвистической переменной;

– определение степени истинности нечетких правил, на основе которой осуществляет выбор значений выходной переменной.

В основе механизма вывода решений интеллектуальной информационной системы лежит модель предметной области, представляющая собой композицию нечетких отношений семантических пространств показателей качества работы машины, факторов внешней среды и регулируемых параметров машины. В общем виде развернутая форма нечеткого логического вывода для системы знаний данного вида может быть представлена следующим образом [Там же]:

$$\mu_{B'} = \bigvee_{k \in K} \left(\bigwedge_{j \in J} \mu_{Bkj} y_j \right) \bigwedge_{i \in I} \mu_{Aki} (x'_i).$$

9. На заключительном этапе решения задач с использованием мето-



дов нечеткой логики предполагается определение точных значений выходных параметров. Одним из наиболее распространенных методов, используемых на этапе дефаззификации, является метод «центра тяжести» [9]:

$$y'_j = \frac{\left(\int y_j Y_j^{1/y_j} (y_j) dy_j \right)}{\left(\int 1/y_j (y_j Y_j) dy_j \right)}.$$

Ключевым звеном описанной нечеткой системы, определяющим ее функционирование, является лингвистическая модель, представленная множеством нечетких правил. В нашем случае база знаний по корректировке технологических регулировок молотилки комбайна составляет более 17 тыс. правил.

Например, для дедуктивной схемы вывода (при решении задачи предварительной настройки) экспертное правило имеет вид:

ЕСЛИ <культура «пшеница»
И урожайность «средняя»
И засоренность поля «малая»
И соломистость «нормальная»
И влажность хлебостоя «сухой»>,
ТО <частота вращения молотильного барабана «пониженная»>.

При индуктивной схеме вывода (задача корректировки технологических регулировок) экспертное правило имеет вид:

ЕСЛИ <частота вращения молотильного барабана «повышенная»
И состояние бичей молотильного барабана «изношенное»
И зазор между барабаном и декой «номинальный»
И зазор между молотильным барабаном и декой по всей ширине МСУ «неравномерный»>,
ТО <дробление зерна «повышенное»>.

После этапа дефаззификации для каждой задачи были получены либо конкретные числовые значения параметров рабочих органов комбайна, либо значения измененных регулиро-

емых параметров, способствующих устранению возникшего нарушения технологического процесса [10].

Особенностью алгоритма является наличие процедуры возврата к этапу композиции. Это обусловлено тем, что изменение значения одного из параметров (для устранения конкретного внешнего признака нарушения технологического процесса – ситуация № 1), может привести к появлению дополнительного нарушения техпроцесса. В этом случае методика предусматривает выдвижение и проверку истинности дополнительных гипотез (в используемой терминологии – нечетких высказываний) о возможности появления дополнительных разрегулировок (ситуации № 2, № 3 и т. д.). В случае, если новое значение параметра не ухудшает ситуацию, делается вывод о завершении итераций вывода, и пользователю предоставляется искомое решение.

Обсуждение и заключения

Рассматриваемая задача технологической регулировки уборочных машин относится к классу неформализованных задач принятия решений. Предлагаемый лингвистический подход для решения задачи технологической регулировки комбайнов в полевых условиях в полной мере отвечает основным требованиям системного анализа. Реализация данного подхода позволяет строить адекватные внешним условиям модели признаков задачи, всесторонне учитывать основные элементы системы и взаимосвязи между ними.

Важным является возможность адекватного представления на основе единого формализма как количественных, так и качественных (лингвистических) признаков рассматриваемой системы, что позволяет создать единую модель предметной области, которая соответствует реальным условиям функционирования комбайнов.

Внедрение экспертной системы для информационной поддержки опе-

ратора позволит значительно снизить уровень информационной нагрузки, что повысит эффективность уборочных работ при наличии операторов низкой квалификации.

Для реализации стратегии создания машин нового типа целесообразно использовать данную экспертную систему как элемент интеллектуальной системы управления комбайном.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Краснощеков Н. В.** Агроинженерная стратегия: от механизации сельского хозяйства к его интеллектуализации // Тракторы и сельхозмашины. 2010. № 8. С. 5–7. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=17692608>
2. **Царев Ю. А., Харьковский А. В.** Перспективы использования электронной системы управления в комбайнах «Дон» и «Нива» // Тракторы и сельхозмашины. 2005. № 1. С. 37–38. URL: <http://www.avtomash.ru/gur/2005/200501.htm>
3. **Борисова Л. В.** Методика моделирования предметной области «технологическая настройка» в нечеткой постановке // Доклады РАСХН. 2005. № 6. С. 62–65. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=18215461>
4. **Zadeh L. A.** Fuzzy sets // Information and Control. 1965. № 8. P. 338–353. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001999586590241X>
5. **Zadeh L.** Knowledge representation in fuzzy logic // An Introduction to Fuzzy Logic Applications in Intelligent Systems, The Springer International Series in Engineering and Computer Science. New York : Springer, 1992. Vol. 165. P. 1–27.
6. **Димитров В. П., Борисова Л. В., Нурутдинова И. Н.** О методике представления нечетких экспертных знаний // Вестник Донского государственного технического университета. 2014. Т. 14, № 4 (79). С. 93–102. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=22875602>
7. **Жуков В. И.** Адаптивный нечеткий алгоритм кэширования для прокси-серверов // Вестник Донского государственного технического университета. 2012. № 8 (69). С. 54–61. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/adaptivnyy-nechyotkiy-algoritm-keshirovaniya-dlya-proksi-serverov>
8. **Димитров В. П., Борисова Л. В., Нурутдинова И. Н.** О методике фаззификации нечеткой экспертной информации // Вестник Донского государственного технического университета. 2012. Т. 11. № 1-2 (62). С. 46–50. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=18059001>
9. О методике дефаззификации нечеткой экспертной информации / В. П. Димитров [и др.] // Вестник Донского государственного технического университета. 2010. Т. 10, № 6 (49). С. 868–878. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=16328777>
10. **Borisova L. V., Nurutdinova I. N., Dimitrov V. P.** Approach to the problem of choice of values of the adjustable parameters harvester based on fuzzy modeling // Вестник Донского государственного технического университета. 2015. Т. 15, № 2 (81). С. 100–107. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=23788320>

Поступила 13.03.2017; принята к публикации 27.04.2017; опубликована онлайн 14.06.2017

Об авторах:

Борисова Людмила Викторовна, заведующая кафедрой менеджмента и бизнес-процессов, факультет бизнеса и менеджмента, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (344000, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6611-4594>, borisovalv09@mail.ru

Димитров Валерий Петрович, декан факультета приборостроения и технического регулирования, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (344000, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-1439-1674>, kaf-qm@donstu.ru



Вклад соавторов: Л. В. Борисова: разработка методики построения нечеткого логического вывода применительно к задаче технологической регулировки машины; В. П. Димитров: анализ предметной области, моделирование нечетких экспертных знаний, разработка базы знаний.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Krasnoshchekov N. V. Agroengineering strategy: from mechanization of agriculture to its intellectualization. *Traktory i selkhoz mashiny* = Tractors and Farm Vehicles. 2010; 8:5-7. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=17692608> (In Russ.)
2. Tsarev Yu. A., Kharkovskiy A. V. [The prospects of use of an electronic control system in Don and Niva combines]. *Traktory i selkhoz mashiny* = Tractors and Farm Vehicles. 2005; 1:37-38. Available at: <http://www.avtomash.ru/gur/2005/200501.htm> (In Russ.)
3. Borisova L. V. Echnique of modeling a subject domain "technological adjustment" in district statement. *Doklady RASKhN* = RASKhN Proceedings. 2005; 6:62-65. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=18215461> (In Russ.)
4. Zadeh L. A. Fuzzy sets. *Information and Control*. 1965; 8:338-353. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001995586590241X>
5. Zadeh L. Knowledge representation in fuzzy logic. *An Introduction to Fuzzy Logic Applications in Intelligent Systems*. The Springer International Series in Engineering and Computer Science. 1992; 165:1-27.
6. Dimitrov V. P., Borisova L. V., Nurutdinova I. N. On technique of fuzzy expert knowledge representation. *Vestnik DGTU* = Don State Technical University Bulletin. 2014; 4(79):93-102. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=22875602> (In Russ.)
7. Zhukov V. I. [Adaptive fuzzy caching algorithm for proxy servers]. *Vestnik DGTU* = Don State Technical University Bulletin. 2012; 8(69):54-61. Available at: <http://cyberleninka.ru/article/n/adaptivnyy-nechotyotkiy-algoritim-keshirovaniya-dlya-proksi-serverov>
8. Dimitrov V. P., Borisova L. V., Nurutdinova I. N. On expert information fuzzification method. *Vestnik DGTU* = Don State Technical University Bulletin. 2012; 1-2(62):46-50. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=18059001> (In Russ.)
9. Dimitrov V. P., Borisova L. V., Nurutdinova I. N., Bogatyreva Ye. V. On defuzzification method in fuzzy expert information processing. *Vestnik DGTU* = Don State Technical University Bulletin. 2010; 6(49):868-878. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=16328777> (In Russ.)
10. Borisova L. V., Nurutdinova I. N., Dimitrov V. P. Approach to the problem of choice of values of the adjustable parameters harvester based on fuzzy modeling. *Vestnik DGTU* = Don State Technical University Bulletin. 2015; 2(81):100-107. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=23788320>

Submitted 13.03.2017; revised 27.04.2017; published online 14.06.2017

About the authors:

Lyudmila V. Borisova, Head of the Chair of Management and Business Processes, Faculty of Business and Management, Don State Technical University (1 Gagarin Sq., Rostov-on-Don 344000, Russia), Dr.Sci. (Engineering), professor, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6611-4594>**, borisovalv09@mail.ru

Valeriy P. Dimitrov, Dean of the Faculty of Instrument Engineering and Technical Regulation, Don State Technical University (1 Gagarin Sq., Rostov-on-Don 344000, Russia), Dr.Sci. (Engineering), professor, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1439-1674>**, kaf-qm@donstu.ru

Contribution of the co-authors: L. Borisova: development of a method for constructing fuzzy logic inference as applied to the task of technological adjustment of a machine; V. Dimitrov: analysis of the subject domain, modeling of fuzzy expert knowledge, development of the knowledge base.

All authors have read and approved the final version of the manuscript.