

УДК 007: 631.4

**АНАЛИЗ ЭКСПЕРТНОЙ
ИНФОРМАЦИИ О РЕГУЛИРУЕМЫХ
ПАРАМЕТРАХ КОМБАЙНА***Нурутдинова И. Н., Лазарева Е. Н.*

Донской государственной технической
университет, Ростов-на-Дону, Российская
Федерация

nurut.inna@yandex.rukatrinelaz96@mail.ru

В статье рассмотрен этап фаззификации в задаче предварительной настройки рабочих органов зерноуборочного комбайна при уборке пшеницы. Рассмотрены вопросы представления нечеткой информации о регулируемых параметрах комбайна. Выбран один из важнейших параметров, определяющих качество уборки урожая, — частота вращения вентилятора очистки. Изучена предметная область «Технологическая настройка комбайна». Определена лингвистическая переменная «частота вращения вентилятора очистки». Установлены базовое и расширенное терм-множества. На основе информации, полученной от четырех экспертов, построены функции принадлежности. Вычислены аддитивный и мультипликативный показатели согласованности. Получены матрицы парной согласованности и индексов нечеткости. Анализ на основе критериев согласованности показал следующее. Качество экспертной информации достаточно высоко, и она может быть использована в экспертной системе для установления значений регулируемых параметров зерноуборочного комбайна.

Ключевые слова: зерноуборочный комбайн, вентилятор очистки, лингвистическая переменная, функция принадлежности, показатели согласованности, фаззификация, экспертная система.

Введение. Качественные и количественные показатели уборки урожая существенно зависят от предварительной технологической настройки машины, что определяет актуальность задачи выбора значений регулируемых параметров. Параметры настройки зависят в первую очередь от внешних факторов, которые меняются в процессе работы. На выбор значений параметров технологической настройки существенно влияет качественная или оценочная информация. При этом взаимосвязи между внешними факторами и параметрами настройки носят сложный и неоднознач-

UDC 007: 631.4

**ANALYSIS OF EXPERT
INFORMATION ON ADJUSTABLE
COMBINE PARAMETERS***Nurutdinova I. N., Lazareva E. N.*

Don State Technical University, Rostov-on-Don,
Russian Federation

nurut.inna@yandex.rukatrinelaz96@mail.ru

The paper presents the fuzzification stage in the problem of preliminary adjustment of the work tools of a combine harvester for harvesting wheat. The problems of fuzzy information presentation on the adjustable parameters of the combine are considered. One of the most important parameters determining the quality of harvesting is selected. It is the rotational speed of the separator fan. The subject domain "Technological adjustment of the combine" has been studied, linguistic variable "rotational speed of the separator fan" has been defined, basic and extended term-sets have been determined. On the basis of the information, obtained from four experts, membership functions have been constructed. Matrix of pair consistency and matrix of fuzziness indices have been constructed. The analysis based on the consistency criteria showed a sufficiently high quality of expert information, acceptable for use in the expert system to establish the values of the adjustable parameters of a combine harvester.

Keywords: combine harvester, separator fan, linguistic variable, membership function, indices of consistency, fuzzification, expert system.

ный характер. Следовательно, построение традиционных математических моделей невозможно, а приближенные модели малоэффективны. Уборочная техника относится к многоуровневым иерархическим системам, функционирующим в нечетких условиях. Для адекватного описания процесса принятия решений в таких случаях используется математический аппарат теории нечетких множеств^о[1]. Интеллектуальные системы, основанные на нечетком логическом выводе решения^о[2], помогают оператору в принятии решений. Разработка таких систем — перспективное направление совершенствования технологической настройки уборочных машин в полевых условиях^о[3, 4]. Использование экспертных систем для технологической настройки комбайна в полевых условиях позволяет снизить время на технологические простои и сократить потери урожая^о[3, 4].

Формализация реальных систем и построение нечетких моделей основаны на лингвистическом подходе: зависимости между множествами входных и выходных факторов качественно описываются как высказывания в виде продукционных правил. Для формализации нечетких отношений признаков предметной области используются нечеткие лингвистические переменные, нечеткие множества и отношения. Нечеткий логический вывод решения в нечетких моделях основывается на экспертных знаниях. Достоверность и соответствие экспертной информации реальным условиям существенно влияют на точность решения, и это определяет высокие требования к формированию базы экспертной информации.

Применение математического аппарата теории нечетких множеств для моделирования процесса принятия решений о параметрах технологической настройки обуславливает его основные этапы: фаззификация, композиция и дефаззификация^о[1]. Блок экспертной информации формируется на этапе фаззификации: исследуется предметная область, определяются значимые факторы, и в соответствии с логико-лингвистическим подходом условия решения задачи представляются в лингвистической форме^о[5]. Модели входных и выходных факторов создаются в виде семантических пространств и функций принадлежности.

В настоящей статье рассмотрен этап фаззификации, решается задача лингвистического описания одного из регулировочных параметров комбайна — частоты вращения вентилятора очистки.

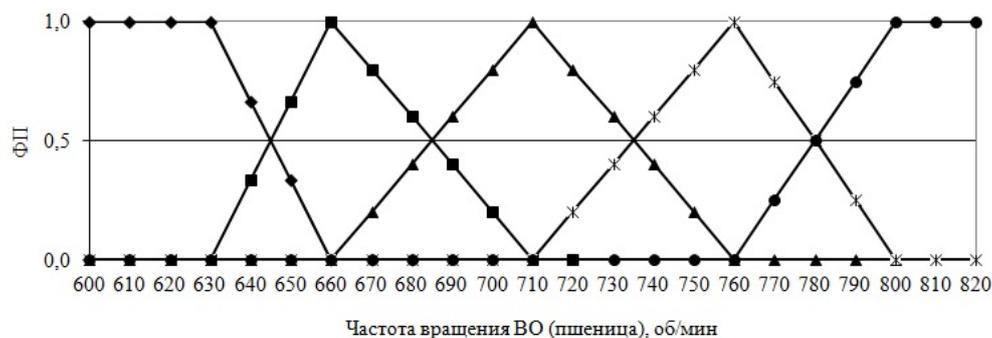
Лингвистическое описание. В результате изучения предметной области «Технологическая настройка комбайна»^о[6–8] определены 54 регулируемых параметра основных агрегатов зернокомбайна — жатвенной части и молотилки. Наиболее значимые параметры с точки зрения оперативности, доступности и важности влияния на показатели качества уборки — скорость движения комбайна, частота вращения вентилятора очистки и частота вращения молотильного барабана. Остановимся на последнем из перечисленных параметров. Выбор интервала его изменения существенно зависит от убираемой культуры. В рамках представленной работы рассматривается пшеница. Шкала изменения лингвистической переменной «частота вращения вентилятора очистки (пшеница)» — [600–820] об/мин.

Кортеж лингвистической переменной «частота вращения вентилятора очистки (пшеница)» имеет вид:

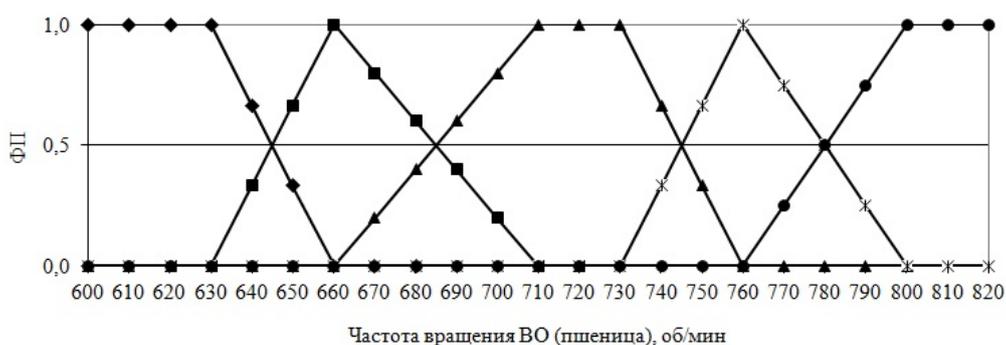
<ЧАСТОТА ВРАЩЕНИЯ ВЕНТИЛЯТОРА ОЧИСТКИ (пшеница), об/мин
{ Низкая, Ниже средней, Средняя, Выше средней, Высокая },
[600–820], > ЧВВО(П) = {Н, НС, С, ВС, В, об/мин}.

Рассмотрим проблему выбора количества термов лингвистической переменной. Очевидно, что, с одной стороны, выбор определяется соображениями точности измерения конкретного параметра и удобством его оценки экспертами. С другой стороны, для выявления и описания зависимостей данного параметра и показателей качества работы требуется достаточное количество тер-

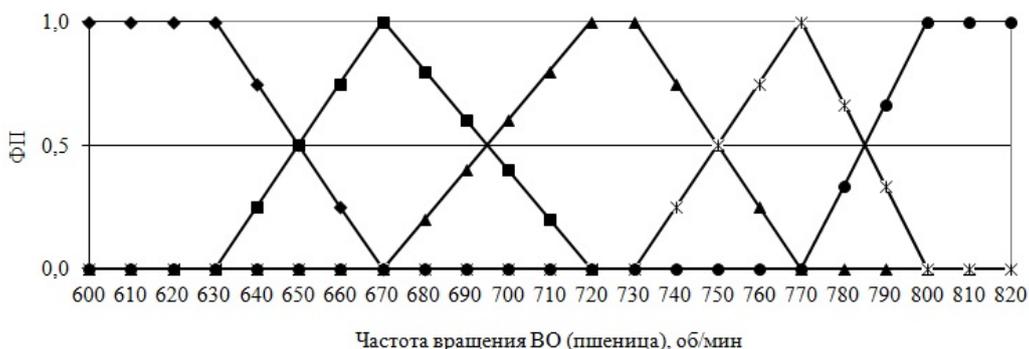
мов. В каждой задаче для решения этого вопроса проводится априорный анализ предметной области и особенностей оценивания. Для лингвистической переменной «частота вращения вентилятора очистки» оптимальной является 5-термовая модель. Для описания термов функции принадлежности использованы функции треугольного и трапецидального вида^о[7]. Оценки лингвистической переменной даны четырьмя экспертами. Графики функций принадлежности представлены на рис. 1.



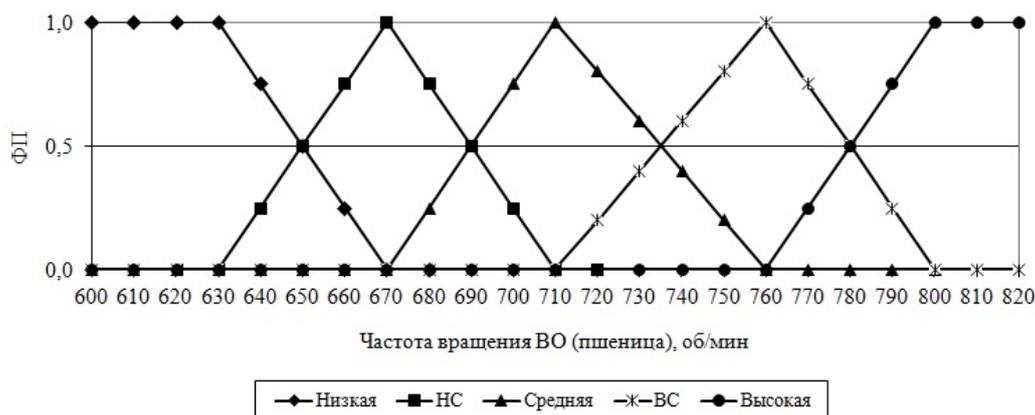
а)



б)



в)



з)

Рис. 1. Вид функций принадлежности, заданных: 1-м экспертом (а); 2-м экспертом (б); 3-м экспертом (в); 4-м экспертом (з)

Анализ согласованности экспертной информации. Оценка степени соответствия экспертной информации реальным условиям включает анализ общей и парной согласованности информации^о[9, 10].

Согласованность всего множества моделей, представленных экспертами, характеризуется значениями аддитивного k_a и мультипликативного k_m показателей^о[9]:

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

где $l = 1, 2, \dots; m$ — номер термина; $i = 1, 2, \dots; k$ — номер эксперта; $\mu_{il}(x)$ — функция принадлежности, заданная i -м экспертом для l -го термина.

Показатель различия d_{ij}^l между моделями i -го и j -го экспертов для l -го термина есть линейное расстояние Хэмминга между нечеткими множествами с функциями принадлежности $\mu_{il}(x)$ и $\mu_{jl}(x)$ ^о[9]:

$$d_{ij}^l = \int_0^1 |\mu_{il}(x) - \mu_{jl}(x)| dx \quad (2)$$

Значения d_{ij}^l образуют матрицу D^l индексов нечеткости для l -го термина.

Показатели согласованности k_{ij}^l между моделями i -го и j -го экспертов для l -го термина определяются формулой^о[10]:

$$k_{ij}^l = \frac{\int_0^1 \min[\mu_{il}(x), \mu_{jl}(x)] dx}{\int_0^1 \max[\mu_{il}(x), \mu_{jl}(x)] dx} \quad (3)$$

Величины k_{ij}^l образуют матрицу K_m^{ij} парной согласованности для l -го термина.

Для каждого из терминов вычисляются матрицы индексов нечеткости и парной согласованности моделей. Элементы этих матриц усредняются — и таким образом находятся матрица D_m индексов нечеткости и матрица K_m согласованности моделей по всем терминам^о[10]:

$$d_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{l=1}^m d_{ij}^l, k_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{l=1}^m k_{ij}^l \quad (4)$$

где m — число терминов.

Для расчета характеристик согласованности использован программный комплекс^о[11]. Результаты вычислений по формулам (1) дали следующие значения аддитивного k_a и мультипликативного k_m показателей общей согласованности: $k_a = 0,734; k_m = 0,727$.

Результаты вычислений матриц парной согласованности по формулам (3) и (4) и матриц индексов нечеткости по формулам (2) и (4) представлены в табл. 1–6.

Таблица 1

Матрицы парной согласованности и индексов нечеткости для термина «Низкая»

Матрица парной согласованности				Матрица индексов нечеткости			
1	0,831	0,833	0,833	0	0	0,1	0,1
1	1	0,833	0,833	0	0	0,1	0,1
0,833	0,833	1	1	0,1	0,1	0	0
0,833	0,833	1	1	0,1	0,1	0	0

Таблица 2

Матрицы парной согласованности и индексов нечеткости для термина «Ниже средней»

Матрица парной согласованности				Матрица индексов нечеткости			
1	1	0,719	0,8	0	0	0,154	0,099
1	1	0,719	0,8	0	0	0,154	0,099
0,719	0,719	1	0,889	0,154	0,154	0	0,051
0,8	0,8	0,889	1	0,099	0,099	0,056	0

Таблица 3

Матрицы парной согласованности и индексов нечеткости для термина «Средняя»

Матрица парной согласованности				Матрица индексов нечеткости			
1	0,833	0,628	0,9	0	0,08	0,192	0,04
0,823	1	0,769	0,75	0,08	0	0,12	0,12
0,628	0,769	1	0,61	0,192	0,12	0	0,152
0,9	0,75	0,681	1	0,04	0,12	0,152	0

Таблица 4

Матрицы парной согласованности и индексов нечеткости для термина «Выше средней»

Матрица парной согласованности				Матрица индексов нечеткости			
1	0,778	0,62	1	0	0,095	0,179	0
0,778	1	0,778	0,778	0,095	0	0,083	0,095
0,62	0,778	1	0,62	0,179	0,083	0	0,179
1	0,778	0,62	1	0	0,095	0,179	0

Таблица 5

Матрицы парной согласованности и индексов нечеткости для термина «Высокая»

Матрица парной согласованности				Матрица индексов нечеткости			
1	1	0,875	1	0	0	0,071	0
1	1	0,875	1	0	0	0,071	0
0,875	0,875	1	0,875	0,071	0,071	0	0,071
1	1	0,875	1	0	0	0,071	0

Таблица 6

Матрицы парной согласованности и индексов нечеткости для всех термов

Матрица парной согласованности				Матрица индексов нечеткости			
1	0,922	0,735	0,907	0	0,035	0,139	0,048
0,922	1	0,795	0,832	0,035	0	0,106	0,083
0,735	0,795	1	0,813	0,139	0,106	0	0,095
0,907	0,832	0,813	1	0,048	0,083	0,095	0

Выводы. Сформированная база знаний, включающая термы и функции принадлежности лингвистических переменных регулируемых параметров, предназначена для экспертной системы технологической настройки комбайна в полевых условиях. Точность и оперативность принятия решений с помощью экспертных систем в сложных, меняющихся внешних условиях в значительной степени зависит от качества экспертной информации, что определяет высокие требования к ней. Анализ результатов вычислений позволяет сделать следующие выводы. Уровень согласованности экспертной информации достаточно высок, следовательно, такая информация может быть использована в экспертной системе для технологической настройки комбайна. Таким образом, получено адекватное лингвистическое описание параметра «частота вращения вентилятора очистки».

Библиографический список

1. Zadeh, L.-A. Fuzzy sets / L.-A. Zadeh // Fuzzy sets and systems. — 1965. — № 8. — P. 338–353.
2. Asai, K. Applied fuzzy systems / K. Asai, D. Vatada, S. Sugeno. — Moscow : Mir, 1993. — 368 p.
3. Димитров, В. П. Совершенствование информационной службы по использованию комбайнов / В. П. Димитров, Л. В. Борисова // Техника в сельском хозяйстве. — 2008. — № 4. — С. 25–28.
4. Димитров, В. П. Экспертная система для технологической регулировки зернокомбайнов / В. П. Димитров, Л. В. Борисова // Сельский механизатор. — 2011. — № 12. — С. 6–7.
5. Димитров, В. П. Лингвистический подход к решению задачи технологической регулировки комбайнов / В. П. Димитров, Л. В. Борисова // Вестник Мордовского университета. — 2017. — Т. 27. — № 2. — С. 178–189.
6. Борисова, Л. В. Особенности формализации знаний при логико-лингвистическом описании сложных технических систем / Л. В. Борисова, В. П. Димитров. — Ростов-на-Дону : Изд-во РГАСХМ, 2006. — 207 с.
7. Борисова, Л. В. Формализация нечетких экспертных знаний при лингвистическом описании технических систем / Л. В. Борисова, В. П. Димитров. — Ростов-на-Дону : Изд-во ДГТУ, 2011. — 209 с.
8. Димитров, В. П. Особенности моделирования процесса принятия решений при технологической регулировке машин / В. П. Димитров, Л. В. Борисова // Механизация и электрификация сельского хозяйства. — 2009. — № 4. — С. 2–4.
9. Борисова, Л. В. О методике представления нечетких экспертных знаний / Л. В. Борисова, В. П. Димитров, И. Н. Нурутдинова // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2014. — Т. 14, № 4 (79). — С. 93–102.
10. Димитров, В. П. О методике фаззификации нечеткой экспертной информации / В. П. Димитров, Л. В. Борисова, И. Н. Нурутдинова // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2012. — Т. 12, № 1–2 (62). — С. 46–50.
11. Программная система для ввода экспертных знаний / В. П. Димитров [и др.] // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2011. — Т. 11, № 1 (52). — С. 83–90.