

## **Оценивание значения поправочного коэффициента к норме затрат топлива для зерноуборочных комбайнов методами нечёткой логики**

Одним из наиболее сложных в управлении и наиболее затратным этапом производства зерновых культур является этап уборочных работ. Для того чтобы провести уборку урожая в оптимальные сроки и эффективно, сельскохозяйственные предприятия используют большое количество технических средств, управление которыми является достаточно сложной задачей. Это связано с тем, что для принятия эффективных решений необходимо анализировать значительный объём информации о свойствах и характеристиках технических ресурсов, задействованных в уборочно-транспортных работах, и среде их функционирования. Для разрешения данной проблемы применяют, как правило, экономико-математические методы [1], методы теории массового обслуживания [2], имитационного моделирования [3], логистические методы [4]. Однако данные подходы не позволяют в полной мере учесть такие особенности технологического процесса уборочно-транспортных работ как нестационарность и стохастичность поведения, невозпроизводимость экспериментов, недостаток информации о характеристиках процесса. Эти особенности технологического процесса можно учесть при решении задач планирования и оперативного управления сельскохозяйственными работами за счёт применения методов теории нечётких множеств и нечёткой логики.

Одной из актуальных задач на этапе планирования работ по сбору урожая является задача прогноза затрат топлива для зерноуборочных комбайнов. Её актуальность обусловлена тем, что нормы затрат топлива устанавливаются для новых машин без учёта повышения срока их службы и условий эксплуатации, поэтому значения предполагаемых затрат могут значительно отличаться от фактических.

К наиболее значимым факторам, влияющим на затраты топлива, относятся следующие [5]: срок эксплуатации комбайна, урожайность культуры и длина гона поля. Однако информация по данным показателям может быть неполной или неточной, поэтому для расчёта поправочного коэффициента к норме расхода топлива рационально применить методы нечёткой логики.

**Постановка задачи:** разработать методику прогноза значения поправочного коэффициента к норме расхода топлива для зерноуборочных комбайнов на основе методов нечёткой логики, которая позволит учесть влияние сроков эксплуатации техники и технологические условия её эксплуатации на показатель расхода топлива.

**Решение задачи.**

Вследствие того, что информация, необходимая для построения базы нечётких правил, является количественной, а не лингвистической, то базу

нечётких правил сформируем с использованием универсального метода построения базы нечётких правил на основе численных данных [6, 7].

Рассмотрим основные этапы построения базы нечётких правил.

1) **Разделение пространства входных и выходных данных на области.** На основе статистических данных, взятых из источника [5], сформируем множество обучающих данных, состоящее из векторов:

$$\overline{X^\xi} = (x_1(\xi), x_2(\xi), x_3(\xi), z(\xi)), \xi = \overline{1, 230}, \quad (1)$$

где  $\xi$  - номер обучающего вектора;  $x_1(\xi)$  - урожайность культуры, ц/га;  $x_2(\xi)$  - длина гона поля, м;  $x_3(\xi)$  - срок эксплуатации комбайна, лет;  $z(\xi)$  - значение поправочного коэффициента к норме затрат топлива.

Вместе с этим, зафиксируем минимальные и максимальные значения входных и выходных переменных:  $x_1(\xi) \in [10, 50]$ ,  $x_2(\xi) \in [100, 1500]$ ,  $x_3(\xi) \in [0, 25]$ ,  $z(\xi) \in [0, 95, 2]$ . Каждую из этих областей определения разделим на три отрезка, и на каждом из них зададим функции принадлежности нечётких переменных, характеризующих входящие и выходящие переменные. Все переменные зададим в виде треугольных функций принадлежности.

2) **Синтез нечётких правил на основе обучающих данных.** Для формирования нечёткого правила необходимо определить максимальную степень принадлежности каждого компонента обучающего вектора к заданным отрезкам. Если один из компонентов обучающего вектора имеет наибольшую степень принадлежности к определённому нечёткому множеству, заданному на одном из отрезков, то это нечёткое множество включается в правило. Нечёткие правила приведём в следующем общем виде:

$$R^\xi : IF((x_1(\xi) = U_\alpha^\xi) AND (x_2(\xi) = B_\zeta^\xi) AND (x_3(\xi) = C_\mu^\xi)) TNEN (z^\xi = K_\gamma^\xi), \alpha, \zeta, \mu, \gamma = \overline{1, 3} \quad (2)$$

где  $\xi$  - номер правила,  $U_\alpha$  - нечёткое множество, характеризующее урожайность культуры,  $B_\zeta$  - нечёткое множество, характеризующее длину гона поля,  $C_\mu$  - нечёткое множество, характеризующее срок эксплуатации комбайна,  $K_\gamma$  - нечёткое множество, задающее коэффициент поправки к норме затрат топлива для зерноуборочных комбайнов.

3) **Определение степени истинности для каждого правила.** Целью данного этапа является решение проблемы противоречивых правил, и, как следствие, сокращение количества правил. На этом этапе обрабатываются правила, имеющие одинаковые условия и различные заключения. Каждому правилу задаётся определённая степень истинности с последующим выбором из противоречивых правил того правила, в котором степень истинности будет наибольшая. Для правила  $R^\xi$  степень истинности  $SP$  определяется по формуле:

$$SP(R^\xi) = \mu_{U_\alpha}^\xi(x_1) \cdot \mu_{B_\zeta}^\xi(x_2) \cdot \mu_{C_\mu}^\xi(x_3) \cdot \mu_{K_\gamma}^\xi(z) \quad (3)$$

где  $\mu_{U_\alpha}^\xi(x_1)$  - значение функции принадлежности элемента  $x_1(\xi)$  к нечёткому множеству  $U_\alpha$ ,  $\mu_{B_\zeta}^\xi(x_2)$  - значение функции принадлежности элемента  $x_2(\xi)$  к нечёткому множеству  $B_\zeta$ ,  $\mu_{C_\mu}^\xi(x_3)$  - значение функции принадлежности элемента  $x_3(\xi)$  к нечёткому множеству  $C_\mu$ ,  $\mu_{K_\gamma}^\xi(z)$  - значение функции принадлежности элемента  $z(\xi)$  к нечёткому множеству  $K_\gamma$ .

4) Создание базы нечётких правил. Базу нечётких правил представим в виде трёхмерной матрицы, в ячейках которой находятся нечёткие множества  $K_1, K_2, K_3$ . Измерения матрицы соответствуют значениям  $x_1, x_2, x_3$ , например, на оси  $x_1$  заданы нечёткие множества  $U_1, U_2, U_3$ . В базу нечётких правил внесём 27 правил.

На основе построенной базы нечётких правил можно определить количественное значение выходной переменной  $\bar{z}'$  для определённых входящих сигналов  $(x'_1, x'_2, x'_3)$ . Расчёт выходной переменной осуществим с помощью метода дефаззификации по среднему центру на основании формулы:

$$\bar{z}' = \frac{\sum_{r=1}^{27} \tau^{(r)} \overline{z^{(r)}}}{\sum_{r=1}^{27} \tau^{(r)}} \quad (4)$$

где  $\tau^{(r)}$  - степень активности  $r$ -го правила, определяемая по правилу:

$$\tau^{(r)} = \mu_{U_{\alpha}^r}(x_1') \cdot \mu_{B_{\zeta}^r}(x_2') \cdot \mu_{C_{\mu}^r}(x_3') \quad (5)$$

**Выводы.** Применение разработанной нечёткой модели оценивания поправочного коэффициента к норме расхода топлива даёт возможность получить адекватный результат для зерноуборочных комбайнов с различным эксплуатационным ресурсом в зависимости от характеристик полей, на которых производится уборка урожая.

### Литература

1. Чепурин Г.Е. *Инженерно-технологическое обеспечение процесса уборки зерновых в экстремальных условиях* / Г.Е. Чепурин. - Новосибирск: Изд-во СО РАСХН, 2000. - 227 с.
2. Панюра Я., Сидорчук О., Тригуба А., Боярчук В., Сидорчук Л. *Ризик добового робочого фонду часу зернозбирального комбайна* / Я. Панюра, О. Сидорчук, А. Тригуба, В. Боярчук, Л. Сидорчук // *Техніка АПК*. – 2006. – № 4.– С. 12-14.
3. Ціп Є., Сидорчук О., Тимочко В. *Імітаційна модель роботи зернозбирального комбайна впродовж сезону* / Є. Ціп, О. Сидорчук, В. Тимочко // *Вісник Львів. ДАУ: Агроінженерні дослідження*. – 2001. – №5. - С.17-26.
4. Перебийніс О.В., Перебийніс О.В. *Розвиток автомобілебудування та перспективи транспортної логістики в АПК* / О.В. Перебийніс, О.В. Перебийніс // *Ринок послуг комплексних транспортних систем та прикладні проблеми логістики*. – К. - 2004. – С.154-158.
5. Зубахин А.М., Камша С.А. *Влияние урожайности и срока службы на показатели работы комбайнов* / А.М. Зубахин., С.А. Камша // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. – 2006. - №1 (21). – С. 51-56.
6. Wang L.X., Mendel J.M. *Generating fuzzy rules by learning from examples* / L.X. Wang, J.M. Mendel // *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, November/December*. – 1992. - vol. 22, nr. 6. - P. 1414-1427.
7. Wang L.X. *Adaptive fuzzy systems and control – design and stability analysis* / L.X. Wang // *Englewood Cliffs. - Prentice Hall*. - 1994.