

## РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ СУШКОЙ ЗЕРНА В ШАХТНОЙ СУШИЛКЕ

**В. В. Ткачев, К. В. Соснин**

Национальный горный университет, г. Днепропетровск, Украина

Выполнено моделирование управления сушкой зерна в шахтной сушилке при помощи процедуры нечеткого вывода Е. Мамдани. Знания оператора представлены в виде набора правил. Модель управления учитывает параметры качества зерна, в том числе не измеряемые техническими средствами: цвет зерна, запах зерна, качество оболочки зерна.

**Ключевые слова:** шахтная зерносушилка, управление, моделирование, нечеткие множества

## MODELING RESULTS OF GRAIN-DRYING CONTROL IN SHAFT DRYER

**V. V. Tkachev, K. V. Sosnin**

National Mining University, Dnepropetrovsk, Ukraine

Modeling of grain-drying control in shaft dryer has been performed by Mamdani's fuzzy inference method. Knowledge of operator are presented as a set of rules. The model of control takes into account grain quality parameters including those not measured by technical equipment: grain's color, smell and quality of grain shell.

**Keywords:** shaft grain dryer, control, modeling, fuzzy sets

### **Введение**

В Украине 96 % предприятий сушат зерно в шахтных сушилках [1], управляемых оператором, поэтому качество конечного продукта определяется только его опытом. Исследования характеризуют сушилку как многосвязную, распределенную динамическую систему, обладающую значительной инерционностью по каналам управления и транспортным запаздыванием по каналам преобразования возмущений [2, 3], объектом сложным для эффективного управления [4].

Применение экспериментальных методов построения моделей рабочего процесса сушки в условиях производства ограничено, поскольку они требуют длительного времени и значительных затрат и не всегда позволяют решить задачу совершенствования производственных процессов. Оптимизацию системы управления сушкой эффективно решать методами математического моделирования, сравнивая результат с натурным экспериментом.

Известны системы [8–10], функционирование которых основано на применении аппарата нечетких множеств [11]. Они обеспечи-

вают эффективное управление влажностью зерна и некоторыми дополнительными параметрами, оптимизирующими процесс (эффективное энергопотребление [11], минимизация потерь [10] и др.). Но в таких системах при выборе режимов не учитываются качественные характеристики зерна, оперативный контроль которых в настоящее время не возможен.

Представляется целесообразным использовать систему, которая обучается выработать управляющие воздействия у оператора [5–7], поскольку он перед воздействием всесторонне оценивает состояние рабочего процесса, включая и качественные характеристики зерна (цвет, запах, качество оболочки и др.).

### **Постановка задачи**

При помощи пакета Fuzzy интегрированной среды MATLAB выполнить моделирование процесса управления сушкой зерна пшеницы в зерносушилке ДСП-32 на основании знаний оператора, изложенных в виде правил. Аппарат нечетких множеств использовать для учета показателей качества зерна пшеницы, включающих такие показатели как запах зерна, качество оболочки зерна, цвет зерна.

**Методы и алгоритмы нечеткой логики**

Знания оператора по управлению сушилкой зерна в зерносушилке шахтного типа ДСП-32, формулируются в виде правил, связывающих входы  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  и выходы  $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$  в форме продукционной системы «Если – ТО». Для моделирования системы при помощи нечетких множеств использован алгоритм Е. Мамдани [12].

1. Процедура фазификации определяет значения функции принадлежности для каждого правила.

2. Нечеткий вывод. Определяются уровни отсечения для левой части каждого правила. В качестве  $t$  – нормы выступает логический минимум ( $\min$ ).

3. Объединение усеченных функций. С использованием операции максимум ( $\max$ ) производится объединение найденных усеченных функций, что приводит к получению итогового нечеткого подмножества для переменной выхода с функцией принадлежности.

4. Процедуру (дефазификации) преобразования нечеткого множества в число можно выполнить разными методами. Matlab предоставляет ниже представленные методы.

4.1. Метод центра тяжести (centroid), где четкое значение выходной переменной определяется как центр тяжести для кривой (области) на плоскости  $\mu(y)$ .

4.2. Метод двух секторов (bisector). Четкое значение выходной переменной делит область функции принадлежности  $\mu(y)$  на две равные подобласти. Иногда, но не всегда, совпадает с методом центра тяжести.

4.3. Метод среднего максимума (middle of maximum (mom)). Четкое значение выходной переменной находится по середине всех элементов имеющих максимальную степень принадлежности.

4.4. Метод левого (Small of maximum (som)), правого (Large of maximum (lom)) максимума.

Выбирается наименьший или наибольший элемент нечеткого множества среди всех элементов имеющих максимальную степень принадлежности.

**Моделирование процесса управления сушкой зерна**

Параметры качества зерна, контролируемые при сушке, формализуются множеством параметров согласно ГОСТ на данную культуру и инструкции по сушке зерна [13]. Параметрическая схема процесса сушки зерна представлена на рисунке 1. В качестве возмущающих входных переменных системы нечеткого вывода моделирующего сушку

пшеницы в шахтной зерносушилке ДСП-32 будем рассматривать 8 лингвистических переменных (ЛП):  $K_3V_{вх}$  – влажность зерна;  $K_3ЗАП_{вх}$  – запах зерна, т. е. наличие запаха дыма, сернистого газа, жидкого топлива;  $K_3Ц_{вх}$  – цвет зерна;  $K_3КО_{вх}$  – качество оболочки зерна (потемнение, подгорание, растресканость оболочки, налет копоти, запаренность зерна с сырой оболочкой);  $K_3ЗАР_{вх}$  – зараженность;  $K_3ПС1_{вх}$  – примесь сорная в том числе испорченные зерна, наличие битых, обрушенных зерен, крошащийся эндосперм;  $K_3ККл_{вх}$  – количество сырой клейковины;  $K_3ККч_{вх}$  – качество клейковины. В качестве управляющих параметров системы нечеткого вывода для случая сушки пшеницы будем рассматривать 3 нечетких лингвистических переменных: «Скорость (расход) зерна» (« $C_3$ »), «Температура сушильного агента. На входе в сушильную шахту первой зоны» (« $T_{аэ.1}$ »), «Температура сушильного агента. На входе в сушильную шахту второй зоны» (« $T_{аэ.2}$ »).



Рисунок 1 – Параметрическая схема процесса сушки зерна пшеницы

В качестве выходных параметров выступают 9 лингвистических переменных:  $T_3$  – Температура зерна на выходе второй зоны нагрева;  $K_3V_{вых}$  – влажность зерна;  $откл. K_3ЗАП_{вых}$  – отклонение запаха зерна, т. е. наличие запаха дыма, сернистого газа, жидкого топлива;  $откл. K_3Ц_{вых}$  – отклонение цвета зерна;  $откл. K_3КО_{вых}$  – отклонение качества оболочки зерна (потемнение, подгорание, растресканость оболочки, налет копоти, запаренность зерна с сырой оболочкой);  $K_3ЗАР_{вых}$  – зараженность;  $K_3 ПС1_{вых}$  – примесь сорная примесь сорная, в том числе испорченные зерна, наличие битых, обрушенных зерен, крошащийся эндосперм;  $K_3ККл_{вых}$  –

## РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ СУШКОЙ ЗЕРНА В ШАХТНОЙ СУШИЛКЕ

количество сырой клейковины;  $K_3KK_{\text{вых}}$  – качество клейковины.

В качестве терм-множеств входных лингвистических переменных будем использовать множества:  $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, T_7, T_8$ .  
1-ая ЛП: «Влажность исходного зерна» ( $K_3V_{\text{вх}}$ ) будем использовать множество  $T_1 = \{\text{«сухое» («dry») – не более 14,0 \%, «средней сухости» («average dry») – 14,1–15,5 \%, «влажное» («wet») – 15,6–17,0 \%, «сырое» («raw») – 17,1 \% и более}\}$ .

2-ая ЛП: «Запах зерна» ( $K_3ЗАП_{\text{вх}}$ )  
Наличие запаха дыма, сернистого газа, жидкого топлива. Будем использовать множество  $T_2 = \{\text{«запах не ощущается (отсутствует)» – от 0 до 1, «запах сразу не ощущается, но обнаруживается при тщательном исследовании (нагревании)» – от 1,1 до 2, «запах замечается если обратить внимание» – от 2,1 до 3, «запах легко замечается и вызывает неодобрительный отзыв» – от 3,1 до 4, «запах обращает на себя внимание» – от 4,1 до 5}\}$ .

3-ая ЛП: «Цвет зерна» ( $K_3Ц_{\text{вх}}$ ). Будем использовать множество  $T_3 = \{\text{«отклонения цвета не замечаются (отсутствует)» – от 0 до 1, «откл. цвета сразу не замечается, но обнаруживается при тщательном исследовании (в лабораторных условиях)» – от 1,1 до 2, «откл. цвета замечается, если обратить внимание» – от 2,1 до 3, «откл. цвета легко замечается и вызывает неодобрительный отзыв» – от 3,1 до 4, «откл. цвета обращает на себя внимание» – от 4,1 до 5}\}$ .

4-ая ЛП: «Качество оболочки зерна» ( $K_{\text{откл}}K_3КО_{\text{вх}}$ ). Будем использовать множество  $T_4 = \{\text{«отклонения качества оболочки не замечаются (отсутствует)» – от 0 до 1, «откл. качества оболочки сразу не замечается, но обнаруживается при тщательном исследовании (в лабораторных условиях)» – от 1,1 до 2, «откл. качества оболочки замечается если обратить внимание» – от 2,1 до 3, «откл. качества оболочки легко замечается и вызывает неодобрительный отзыв» – от 3,1 до 4, «откл. качества оболочки обращает на себя внимание» – от 4,1 до 5}\}$ .

5-ая ЛП: «Зараженность» ( $K_3ЗАР_{\text{вх}}$ ) в % будем использовать множество  $T_5 = \{\text{«класс 1» («cl\#1») – не более 0,2 \%, «класс 2» («cl\#2») – не более 0,3 \%, «класс 3» («cl\#3») – не более 0,5 \%, «класс 4» («cl\#4») – не более 0,5 \%, «класс 5» («cl\#5») – не более 0,5 \%, «класс 6» («cl\#6») – не более 0,5 \%}\}$ .

6-ая ЛП: «Примесь сорная. Испорченные зерна» ( $K_3ПС1_{\text{вх}}$ ) в % будем использовать множество  $T_6 = \{\text{«класс 1» («cl\#1») – не более 0,2 \%, «класс 2» («cl\#2») – не более 0,2 \%,$

«класс 3» («cl\#3») – не более 0,5 %, «класс 4» («cl\#4») – не более 0,5 %, «класс 5» («cl\#5») – не более 1,0 %, «класс 6» («cl\#6») – не более 1,0 \%}\}.

7-ая ЛП: «Количество сырой клейковины» ( $K_3КК_{\text{вх}}$ ) в % будем использовать множество  $T_7 = \{\text{«класс 1» («cl\#1») – не менее 30 \%, «класс 2» («cl\#2») – не менее 27 \%, «класс 3» («cl\#3») – не менее 23 \%, «класс 4» («cl\#4») – не менее 18 \%, «класс 5» («cl\#5») – не менее 18 \%, «класс 6» («cl\#6») – не ограничивается}\}$ .

8-ая ЛП: «Качество клейковины» ( $K_3ККЧ_{\text{вх}}$ ) в единицах прибора ИДК будем использовать множество  $T_8 = \{\text{«класс 1» («cl\#1») – 45–75 ед., «класс 2» («cl\#2») – 45–100 ед., «класс 3» («cl\#3») – 45–100 ед., «класс 4» («cl\#4») – 20–100 ед., «класс 5» («cl\#5») – 20–100 ед., «класс 6» («cl\#6») – не ограничивается}\}$ .

В качестве терм-множеств управляющих лингвистических переменных будем использовать множества:  $T_9, T_{10}, T_{11}$ .  
9-ая ЛП: «Скорость движения зерна в сушилке» ( $C_3$ ) будем использовать параметр интервал между срабатываниями затворной рамы представленный в виде множества  $T_9 = \{\text{«Наименьший» («VerySmall»), «Малый» («Small»), «Средний» («Middle»), «Высокий» («High»)}\}$ . Производится оценка по 90 бальной шкале, при которой цифре 11 соответствует наименьшая оценка, а цифре 90 наивысшая оценка.

10-ая ЛП: «Температура сушильного агента. На входе в сушильную шахту первой зоны» ( $T_{\text{аз.1}}$ ) будем использовать множество  $T_{10} = \{\text{«Малый» («Small») – 80–105 °C, «Средний» («Middle») – 95–125 °C, «превышает среднее» («Above Middle») – 120–145 °C и выше}\}$ .

11-ая ЛП: «Температура сушильного агента. На входе в сушильную шахту первой зоны» ( $T_{\text{аз.2}}$ ) будем использовать множество  $T_{11} = \{\text{«Средний» («Middle») – 105–135 °C, «превышает среднее» («Above Middle») – 130–165 °C}\}$ .

В приводятся терм-множества выходных лингвистических переменных, поскольку диапазоны функций принадлежности соответствуют входным лингвистическим переменным. Для решения задачи фазификации и дефазификации выбраны трапециевидные функции принадлежности. Графическое представление (интерпретация) функций принадлежности для некоторых лингвистических переменных представлено на рисунке 2.

Знания оператора по управлению сушкой зерна пшеницы в зерносушилке ДСП-32

представлены в виде совокупности правил (таблица 1). Представленные правила интегрально отражают мнения разных операторов

(экспертов), позволяют приближенно, в рамках заданных функций принадлежности, моделировать управление процессом сушки.

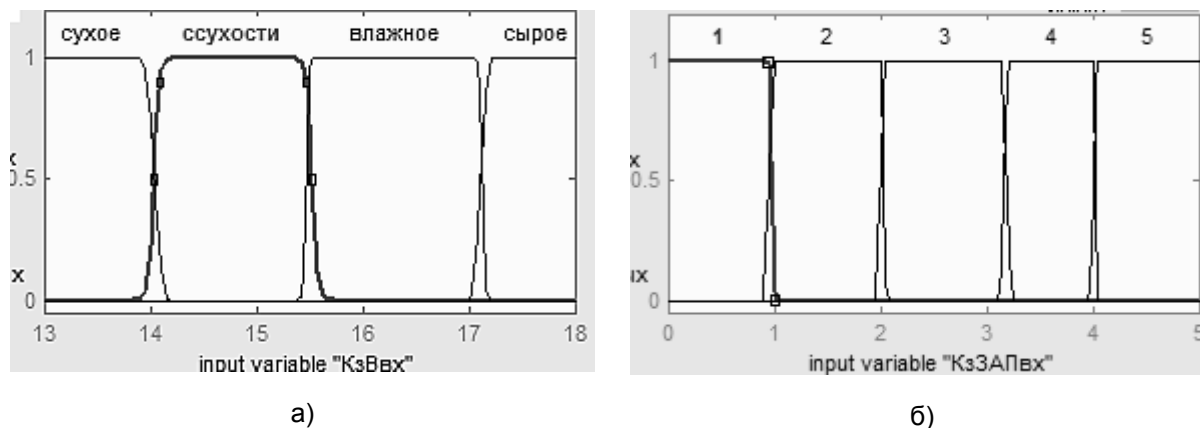


Рисунок 2 – Графическая интерпретация функций принадлежности для лингвистических переменных: а) «влажность исходного зерна» («K<sub>3</sub>B<sub>вх</sub>»), б) «запах зерна» («K<sub>3</sub>ЗАП<sub>вх</sub>»)

Таблица 1 – Продукционная база знаний

| № | 1                              | 2                                | 3                              | 4                               | 5                                | 6                                | 7                                | 8                                | 9                 | 10                | 11             |
|---|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------|-------------------|----------------|
|   | K <sub>3</sub> B <sub>вх</sub> | K <sub>3</sub> Зап <sub>вх</sub> | K <sub>3</sub> Ц <sub>вх</sub> | K <sub>3</sub> КО <sub>вх</sub> | K <sub>3</sub> ЗАР <sub>вх</sub> | K <sub>3</sub> ПС1 <sub>вх</sub> | K <sub>3</sub> ККЛ <sub>вх</sub> | K <sub>3</sub> ККЧ <sub>вх</sub> | T <sub>аг.1</sub> | T <sub>аг.2</sub> | C <sub>3</sub> |
| 1 | AD                             | 0,5                              | 0,5                            | 0,5                             | cl#2                             | cl#2                             | cl#1                             | cl#1                             | S                 | M                 | S              |
| 2 | W                              | 0,5                              | 0,5                            | 0,5                             | cl#2                             | cl#2                             | cl#1                             | cl#1                             | M                 | M                 | M              |
| 3 | R                              | 0,5                              | 0,5                            | 0,5                             | cl#2                             | cl#2                             | cl#1                             | cl#1                             | AM                | AM                | S              |
| 4 | W                              | 0,5                              | 0,5                            | 0,5                             | cl#2                             | cl#2                             | cl#1                             | cl#1                             | AM                | AM                | VS             |
| 5 | W                              | 0,5                              | 0,5                            | 0,5                             | cl#2                             | cl#2                             | cl#1                             | cl#1                             | M                 | M                 | H              |

| № | 12              | 13                              | 14                                     | 15                                   | 16                                    | 17                                | 18                                | 19                                | 20                                |
|---|-----------------|---------------------------------|--|--------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
|   | T <sub>з.</sub> | K <sub>3</sub> B <sub>вых</sub> | откл K <sub>3</sub> ЗАП <sub>вых</sub> | откл K <sub>3</sub> Ц <sub>вых</sub> | откл K <sub>3</sub> КО <sub>вых</sub> | K <sub>3</sub> ЗАР <sub>вых</sub> | K <sub>3</sub> ПС1 <sub>вых</sub> | K <sub>3</sub> ККЛ <sub>вых</sub> | K <sub>3</sub> ККЧ <sub>вых</sub> |
| 1 | S               | D                               | 0,5                                    | 0,5                                  | 0,5                                   | cl#2                              | cl#2                              | cl#1                              | cl#1                              |
| 2 | S               | D                               | 0,5                                    | 0,5                                  | 0,5                                   | cl#2                              | cl#2                              | cl#1                              | cl#1                              |
| 3 | S               | D                               | 0,5                                    | 0,5                                  | 0,5                                   | cl#2                              | cl#2                              | cl#1                              | cl#1                              |
| 4 | AS              | D                               | 1,5                                    | 2,5                                  | 2,5                                   | cl#2                              | cl#3                              | cl#2                              | cl#2                              |
| 5 | S               | AD                              | 0,5                                    | 0,5                                  | 0,5                                   | cl#2                              | cl#2                              | cl#1                              | cl#1                              |

Графически некоторые результаты моделирования сушки зерна представлены на рисунке 3 в аксонометрическом виде. Из рисунка 3а видно, что влажность зерна на выходе зерносушилки не превышает 14 (%) **если** «Влажность исходного зерна» («K<sub>3</sub>B<sub>вх</sub>») соответствует диапазону 15,6–17,0 (%) «влажное» («wet») и «Температура сушильного агента» на входе в сушильную шахту первой зоны» («T<sub>аг.2</sub>») в диапазоне 105–135 (°C), т. е. соответствует диапазону «Средний» («Middle»). Из рисунка 3б видно, что возможно ухудшение качества оболочки зерна до значения «отклонение качества оболочки замечается, если обратить внимание» – от 2,1

до 3, **если** повысить значения переменной «Температура сушильного агента. На входе в сушильную шахту первой зоны» («T<sub>аг.1</sub>») и снизить значение переменной скорость движения зерна в сушилке («C<sub>3</sub>»).

Вопрос подобия (адекватности) модели приведен в таблице 2, где выборка из процесса сушки в условиях предприятия (натурный эксперимент) сравнивается с результатом математического моделирования при разных методах дефазификации. Видно, что применение трех методов дефазификации (centroid, bisector, mom) дает одинаковый результат, который не отличается от значений выборки из процесса сушки на предприятии.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ СУШКОЙ ЗЕРНА В ШАХТНОЙ СУШИЛКЕ

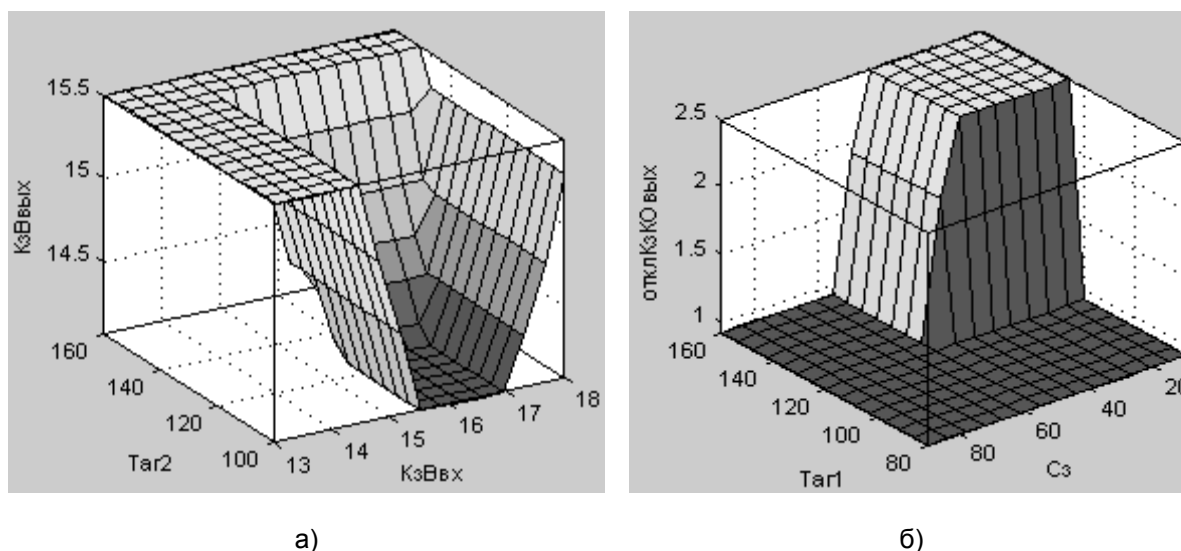


Рисунок 3 – Аксонометрическое представление результатов моделирования сушки зерна

Таблица 2 – Адекватность методов дефазификации натурному эксперименту

| Параметр                    | Натурный эксперимент |          |          |      |     |      |
|-----------------------------|----------------------|----------|----------|------|-----|------|
| $K_3 B_{вх}, \%$            | 16,1                 |          |          |      |     |      |
| $K_3 Зап_{ex}$              | 0,5 (0–1)            |          |          |      |     |      |
| $K_3 Ц_{вх}$                | 0,4 (0–1)            |          |          |      |     |      |
| $K_3 КО_{ex}$               | 0,5 (0–1)            |          |          |      |     |      |
| $K_3 ЗАР_{вх}, \%$          | 0,3                  |          |          |      |     |      |
| $K_3 ПС1_{вх}, \%$          | 0,2                  |          |          |      |     |      |
| $K_3 ККл_{вх}, \%$          | 35                   |          |          |      |     |      |
| $K_3 ККч_{вх}, ед$          | 50 (45–75)           |          |          |      |     |      |
| $T_{ар.1}, ^\circ C$        | 108                  |          |          |      |     |      |
| $T_{ар.2}, ^\circ C$        | 117                  |          |          |      |     |      |
| $C_3, с$                    | 44                   |          |          |      |     |      |
| Метод дефазификации         |                      |          |          |      |     |      |
| Параметр                    | Натурный эксперимент | centroid | bisector | mom  | som | lom  |
| $T_3$                       | 41                   | 42,5     | 42,4     | 42,4 | 36  | 48,8 |
| $K_3 B_{вых}, \%$           | 13,9                 | 13,6     | 13,6     | 13,6 | 13  | 14,1 |
| $откл_{откл} K_3 ЗАП_{вых}$ | (0–1)                | 0,49     | 0,5      | 0,5  | 0   | 0,9  |
| $откл_{откл} K_3 Ц_{вых}$   | (0–1)                | 0,49     | 0,5      | 0,5  | 0   | 0,8  |
| $откл_{откл} K_3 КО_{вых}$  | (0–1)                | 0,49     | 0,5      | 0,5  | 0   | 0,9  |
| $K_3 ЗАР_{вых}, \%$         | 0,3                  | 0,25     | 0,25     | 0,25 | 0,2 | 0,29 |
| $K_3 ПС1_{вых}, \%$         | 0,2                  | 0,15     | 0,15     | 0,15 | 0,1 | 0,2  |
| $K_3 ККл_{вых}, \%$         | 35                   | 35       | 35       | 35   | 30  | 40   |
| $K_3 ККч_{вых}, ед. ИДК$    | 50                   | 60       | 60       | 60   | 45  | 75   |

Математическое моделирование управления сушкой зерна в зерносушилках шахтного типа обеспечивает повышение эффективности сушки зерна путем совершенствования системы управления. Особенностью моделирования является использование не только параметров влажности и температуры зерна,

но и таких параметров качества зерна необходимых для контроля [13] при сушке, которые невозможно измерить техническими средствами. Повышение точности моделирования достигается путем уточнения цели моделирования на всех этапах алгоритма нечеткого вывода. К недостаткам выполненного моделиро-

вания можно отнести неполноте правил даже для одной культуры (представленные правила сушки соответствуют данному качеству пшеницы), зависимость конечного результата моделирования от выбранного метода дефазификации. Формализованные знания по управлению сушкой зерна, представленные в виде базы правил моделируют процесс управления, что позволяет реализовать недетерминированный регулятор управления.

#### Выводы

Знания оператора по управлению рабочим процессом в сушилке ДСП-32 формализованы недетерминированной моделью нечеткого вывода Е. Мамдани в пакете Fuzzy интегрированной среды MATLAB, что позволяет прогнозировать выходные переменные процесса сушки зерна для повышения эффективности. При изменении метода дефазификации числовые значения выходных лингвистических переменных изменяются в интервалах заданных терм-множеств, результат применения трех методов дефазификации (centroid, bisector, mom) совпадает. Представлена недетерминированная модель ситуационного управления и нечетких множеств, учитывающая параметры качества, не измеряемые техническими средствами (запах, цвет, качество оболочки зерна и др.), которые легко оцениваются человеком.

#### Благодарность

Выражаем благодарность Государственному научно-производственному предприятию «Эльдорадо» за помощь в организации натурального эксперимента.

#### Список литературы

1. Купченко, А. В. Современное состояние и тенденции развития мощностей по хранению зерна в хозяйствах Украины [Текст] / А. В. Купченко // Хранение и переработка зерна. – 2012. – № 4. – С. 32–35.
2. Андрианов, Н. М. Математическое моделирование динамических характеристик зерновых сушилок [Текст] / Н. М. Андрианов // Технологии и средства механизации сельского хозяйства: Сб. науч. трудов. – СПб: СПбГАУ. – 2006. – С. 5–13.
3. Андрианов, Н. М. Контроль и регулирование температуры зерна в шахтных сушилках [Текст] / Н. М. Андрианов, Шуньчи Мэй // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – № 8. – С. 9–13.

4. Хобин, В. А. Совершенствование систем автоматического управления режимами работы зерносушилок как основа повышения их эффективности [Текст] / В. А. Хобин // Хранение и переработка зерна. – 2005. – № 4. – С. 41–44.

5. Соснин, К. В. Автоматизация процесса сушки зерна в шахтных зерносушилках на основе теории нечетких множеств [Текст] / К. В. Соснин, А. В. Просянык // Збірник наукових праць НГУ. – Д.: Національний гірничий університет. – 2011. – № 36. – т. 2. – С. 179–186.

6. Sosnin K.; Tkachev V.; Us S.; Taradaichenko M. Multiobjective identification of convicting drying of grain based on fuzzy sets. Proceedings of the 19th International Drying Symposium, Lyon, France, August 24 – 27, 2014. – ISBN: 978-2-7598-1631-6.

7. Ткачев, В. В. Идентификация управления сушкой зерна в шахтных зерносушилках на основе нечетких множеств [Текст] / В. В. Ткачев, С. А. Ус, К. В. Соснин // Проблемы ресурсо- и энергосберегающих технологий в промышленности и АПК: Сб. трудов Междун. научно-техн. конф. (ПРЭТ-2014) (23–26 сентября 2014, Иваново, Россия). – Иваново: Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – 2014. – С. 121–128.

8. H. Mansor, S. B. Mohd Noor, R. K. Raja Ahmad, F. S. Taip and O. F. Lutfy Intelligent control of grain frying process using fuzzy logic controller // Journal of Food, Agriculture & Environment. – Vol. 8 (2). – 2010. – P. 145–149.

9. Lui, Q and Bakker-Arkema, F. W. Automatic control of cross-flow grain dryers. Part 1: Development of a process model // Journal of Agricultural Engineering Research. – 80 (2). – 2001. – P. 173–181.

10. Zhang, Q Litchfield, J. B. 1994. Knowledge representation in a grain drier fuzzy logic controller // Journal of Agricultural Engineering Research. – Volume 57 (4), April. – 1994. – P. 269–278.

11. Atthajariyakul, S and Leephakpreeda, Fluidized bed paddy drying in optimal conditions via adaptive fuzzy logic control // Journal of food engineering. – 75 (1). – 2006. – P. 104–114.

12. Асаи, К. Прикладные нечеткие системы: пер. с япон. / К. Асаи и др. – М.: Мир, 1993. – 368 с.

13. Інструкція по сушінню продовольчого, кормового зерна, насіння олійних культур та експлуатації зерносушарок / Г. М. Станкевич, О. І. Шаповаленко, Т. В. Страхова, Б. М. Петруня, А. І. Яковенко, М. В. Остапчук, А. Б. Шашкін. – Одеса–Київ. ДАК «Хліб України», 1997. – 72 с.

**Ткачев Виктор Васильевич** – д.т.н., профессор  
**Соснин Константин Владимирович** – инженер,  
ассистент, e-mail: sosnink@nmu.org.ua

ГВУЗ «Національний горний університет»,  
г. Днепропетровск, Украина