

УДК 681.5: 664.723

© К.В. Соснин, А.В. Просянык

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СУШКИ ЗЕРНА В ШАХТНЫХ ЗЕРНОСУШИЛКАХ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

Представлено обоснование системы управления процессом сушки зерна в шахтных зерносушилках на основании нечетких множеств.

Представлено обґрунтування системи управління процесом сушіння зерна в шахтних зерносушарках на основі нечітких множин.

Substantiation the process control system of drying grain in the silo dryers based on fuzzy set is represented.

Постановка проблемы. Процесс сушки зерна в цикле послеуборочной обработки является наиболее энергозатратным. Недосушивание зерна ведет к дополнительным затратам на выявление и устранение очагов самосогревания зерна при хранении. Пересушивание зерна сопровождается перерасходом энергоносителей, потерей качества, веса партии зерна. Наиболее распространенным типом зерносушилок являются шахтные зерносушилки, работающие в ручном режиме. От знаний, опыта, квалификации оператора зависит качество высушенного зерна.

Исследованием процесса сушки зерна в шахтных зерносушилках с задачей автоматизации занимаются с момента эксплуатации зерносушилок. Существующие математические описания данного процесса не позволяют реализовать надежный и эффективный автоматизированный/автоматический режим управления на серийно выпускаемых шахтных зерносушилках.

Анализ последних исследований и публикаций. Авторы математических описаний процесса сушки зерна в шахтных зерносушилках [1,5] отмечают, что этот процесс носит сложный характер и не поддается точному числовому описанию. Несмотря на это, оператор осуществляет управление на основании нечетких значений параметров технологического процесса и нечетких значений параметров качества партии зерна.

Цель работы. Обосновать применение математического аппарата нечетких множеств для построения модели управления процессом сушки зерна в шахтных зерносушилках. Пояснить принцип и условия применения системы управления процессом сушки зерна в шахтных зерносушилках. Представить перечень входных сигналов и данных, выходных сигналов, перечень лингвистических переменных, примеры функции принадлежности параметров, критерии оценки качества процедуры сушки зерна, алгоритм.

Результаты исследований. Причиной отсутствия типовой системы управления процессом сушки зерна с автоматическим режимом работы является неопределенность, остающаяся после математического описания детерминированными моделями. Среди различных способов формализации неопределенности наибольшее распространение получил стохастический (вероятностный) подход, при котором неопределенные величины считаются случайными. Одна-

ко для применения стохастического подхода должны выполняться следующие требования [3]:

1. Массовость проводимых экспериментов, т.е. наличие большой выборки;
2. Повторяемость условий экспериментов, оправдывающая сравнение результатов;
3. Статистическая устойчивость.

Можно сделать вывод, что вероятность будет характеризовать событие, которое произойдет по воле субъекта при соблюдении выше указанных требований. При этом не всякое событие, которое произойдет или произошло ранее, независимо от воли субъекта, характеризуется вероятностью.

Для идентификации модели управления процессом сушки зерна в зерносушилке с применением стохастического подхода эти условия выполнить невозможно. Так, если с одного поля в разные годы собирать одну и ту же культуру и сушить на той же зерносушилке, то каждый год показатели собранного зерна будут разные из-за погодных условий, процедуры посева, обработки, сбора урожая. К тому же, целевое назначение зерна влияет на режим сушки, что приводит к невозможности эффективного использования стохастического подхода.

Суть подхода к автоматизации процесса сушки зерна заключается в том, чтобы обучить систему управления процедуре сушки квалифицированным оператором (сушильным мастером). Результатом процедуры должен являться качественный продукт на выходе зерносушилки. В дальнейшем формализованные знания квалифицированного оператора можно использовать для автоматического режима сушки зерна или поддержки принятия решения в условиях неопределенности. При такой постановке задачи, интерпретация неопределенных величин как нечетких больше соответствует реальным условиям производства чем интерпретация этих величин как детерминированных, либо случайных. Предлагается для описания процесса сушки зерна использование математического аппарата с применением понятий – лингвистическая переменная, нечеткое множество, функция принадлежности [2, 4, 5]. Под принадлежностью понимается не вероятность, не возможность, а то, что существует независимо от воли субъекта. Под лингвистической переменной понимается набор $(X, T(X), U, G, M)$ [9], в котором X – название переменной; $T(X)$ – терм-множество X , т.е. совокупность её лингвистических значений; U – универсальное множество; G – синтаксическое правило, порождающее термы множества $T(X)$; M – семантическое правило, которое каждому лингвистическому значению X ставит в соответствие его смысл $M(X)$, причем $M(X)$ обозначает нечеткое подмножество множества U .

Целью разрабатываемой системы является повышение качества процедуры сушки зерна в зерносушилках шахтного типа под управлением оператора путем применения автоматического режима сушки зерна или поддержки принятия решения в условиях неопределенности. Качество зерна на выходе и входе зерносушилки формализовано нечеткими подмножествами $A_{вх}$, $A_{вых}$ множества значений параметров G согласно ГОСТ на данную культуру. Целевая функция

формализована нечетким подмножеством M множества I согласно инструкции по сушке зерна [5].

В качестве входных возмущающих параметров системы с нечетким алгоритмом для случая сушки пшеницы рассматриваются девять лингвистических переменных: 1. «Запах исходного зерна» ($K_3 Zan_{ex}$), понимается наличие запаха дыма, серного газа или жидкого топлива; 2. «Влажность исходного зерна» (« W_{ex} »); 3. «Количество и качество клейковины» (« $K_3 K$ »); 4. «Состояние оболочек исходного зерна», «Цвет исходного зерна» ($K_3 KO_{ex}$), - подгоревшие или потемневшие; 5. «Зараженность зерна» ($K_3 Zap_{ex}$); 6. «Натура/объемная масса» (« $K_3 H$ »); 7. «Примесь зерновая» ($K_3 ПЗ_{ex}$); 8. «Примесь сорная» ($K_3 ПС_{ex}$); 9. «Температура воздуха» (« $T_{воз}$ »).

В качестве управляемых параметров системы с нечетким алгоритмом для случая сушки пшеницы рассматриваются четыре лингвистических переменных: 1.«Расход исходного зерна /Скорость движения зерна в сушилке» (« P_3/ C_3 »); 2.«Температура сушильного агента. На входе в сушильную шахту первой зоны» (« $T_{аэ.1}$ »); 3. «Температура сушильного агента. На входе в сушильную шахту второй зоны» (« $T_{аэ.2}$ »); 4. «Температура зерна. Последний ряд коробов второй зоны» (« T_3 »).

В качестве выходных параметров выступают девять лингвистических переменных: 1. «Температура охлажденного зерна. После сушки» (« $T_{3.охл}$ »); 2. «Запах исходного зерна» ($K_3 Zan_{вых}$), понимается наличие/отсутствие запаха дыма, серного газа или жидкого топлива; 3. «Конечная влажность зерна. После сушки» (« $W_{вых}$ »); 4. «Количество и качество клейковины» (« $K_3 K_{вых}$ »); 5. «Состояние оболочек исходного зерна», «Цвет исходного зерна» ($K_3 KO_{вых}$), понимается наличие / отсутствие подгоревших или потемневших зерен; 6. «Зараженность зерна» ($K_3 Zap_{вых}$); 7. «Натура/объемная масса» (« $K_3 H_{вых}$ »); 8. «Примесь зерновая» ($K_3 ПЗ_{вых}$); 9.«Примесь сорная» ($K_3 ПС_{вых}$).

Приведенные параметры можно классифицировать в соответствии со сложностью их измерения в потоке техническими средствами:

- А. Параметр легко измерить (есть типовые проверенные средства) в потоке на зерносушилке шахтного типа, погрешность измерения ниже требуемой для технологического процесса. Примером, такого параметра является температура. Существуют дешевые стандартизированные измерительные преобразователи (ТСМ, ТСП). При допустимой погрешности измерения параметра [12] «Температура зерна. Последний ряд коробов второй зоны» (« T_3 ») ± 5 °С погрешность преобразователя ТСМ равняется не более ± 1 °С.

- Б. Параметр сложно измерять в потоке на зерносушилке шахтного типа, погрешность измерений сопоставима с погрешностью требуемой для технологического процесса. Например, таким параметром является влажность зерна в потоке. При допустимой погрешности измерения параметра ± 1 % погрешность прибора относительно образцового метода измерения влажности равняется не более $\pm 0,5$ % и погрешность образцового метода измерения влажности в соответствии с ГОСТ равняется не более $\pm 0,5$ %.

- В. Параметр в потоке на зерносушилке шахтного типа не измеряется (применить технический способ измерения параметра в потоке сложно и необоснованно дорого). При этом человек органолептическим способом на месте или при помощи приборов в лабораторных условиях легко справляется с измерением этого параметра. Примерами таких параметров являются «Запах зерна», «Состояние оболочек зерна», «Цвет зерна», «Зараженность зерна», «Количество и качество клейковины» и др.

В качестве терм-множеств входных лингвистических переменных можно рассматривать ниже приведенные множества.

«Влажность исходного зерна» (« W_{ex} ») будем использовать множество $T_1 = \{ \text{«сухое» («dry»)} - \text{не более } 14,0\%, \text{ «средней сухости» («average dry»)} - 14,1-15,5\%, \text{ «влажное» («wet»)} - 15,6-17,0\%, \text{ «сырое» («raw»)} - 17,1\% \text{ и более} \}$.

«Количество и качество клейковины» (« $K_3 K$ ») в % сырой клейковины будем использовать множество $T_2 = \{ \text{«класс 1» («cl\#1»)} - \text{не менее } 30\%, \text{ «класс 2» («cl\#2»)} - \text{не менее } 27\%, \text{ «класс 3» («cl\#3»)} - \text{не менее } 23\%, \text{ «класс 4» («cl\#4»)} - \text{не менее } 18\%, \text{ «класс 5» («cl\#5»)} - \text{не менее } 18\%, \text{ «класс 6» («cl\#6»)} - \text{не ограничивается} \}$.

«Натура» (« $K_3 H$ ») будем использовать множество $T_3 = \{ \text{«класс 1» («cl\#1»)} - \text{не менее } 760 \text{ г/л, «класс 2» («cl\#2»)} - \text{не менее } 755 \text{ г/л, «класс 3» («cl\#3»)} - \text{не менее } 730 \text{ г/л, «класс 4» («cl\#4»)} - \text{не менее } 710 \text{ г/л, «класс 5» («cl\#5»)} - \text{не менее } 710 \text{ г/л, «класс 6» («cl\#6»)} - \text{не ограничивается} \}$.

«Температура воздуха» (« $T_{воз}$ ») будем использовать множество $T_4 = \{ \text{«Зима» («Wi»)} - \text{не выше } +5 \text{ } ^\circ\text{C, «Лето» («S»)} - 15,1 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ и выше} \}$.

Примером терм-множеств управляющих лингвистических переменных будут ниже представленные множества.

«Температура сушильного агента. На входе в сушильную шахту первой зоны» (« $T_{az.1}$ ») будем использовать множество $T_5 = \{ \text{«Ниже нормы» («Below Standart»)} - \text{до } 110 \text{ } ^\circ\text{C, «Норма» («Standart»)} - 111-130 \text{ } ^\circ\text{C, «превышает норму» («Above Standart»)} - 131 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ и выше} \}$.

«Температура зерна. Последний ряд коробов второй зоны» (« T_3 ») будем использовать множество $T_6 = \{ \text{«Ниже нормы» («Below Standart»)} - \text{до } 50 \text{ } ^\circ\text{C, «Норма» («Standart»)} - 51-60 \text{ } ^\circ\text{C, «превышает норму» («Above Standart»)} - 61 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ и выше} \}$.

В качестве терм-множеств выходных лингвистических переменных можно рассматривать ниже приведенные множества.

«Конечная влажность зерна. После сушки» (« $W_{вых}$ ») будем использовать множество $T_1 = \{ \text{«сухое» («dry»)} - \text{не более } 14,0\%, \text{ «средней сухости» («average dry»)} - 14,1-15,5\%, \text{ «влажное» («wet»)} - 15,6-17,0\%, \text{ «сырое» («raw»)} - 17,1\% \text{ и более} \}$.

«Количество и качество клейковины» (« $K_3 K$ ») в % сырой клейковины будем использовать множество $T_2 = \{ \text{«класс 1» («cl\#1»)} - \text{не менее } 30\%, \text{ «класс 2» («cl\#2»)} - \text{не менее } 27\%, \text{ «класс 3» («cl\#3»)} - \text{не менее } 23\%, \text{ «класс 4» («cl\#4»)} - \text{не менее } 18\%, \text{ «класс 5» («cl\#5»)} - \text{не менее } 18\%, \text{ «класс 6» («cl\#6»)} - \text{не ограничивается} \}$.

«Натура» (« $K_3 H$ ») будем использовать множество $T_3 = \{\text{«класс 1» («cl\#1»)} - \text{не менее } 760 \text{ г/л, «класс 2» («cl\#2»)} - \text{не менее } 755 \text{ г/л, «класс 3» («cl\#3»)} - \text{не менее } 730 \text{ г/л, «класс 4» («cl\#4»)} - \text{не менее } 710 \text{ г/л, «класс 5» («cl\#5»)} - \text{не менее } 710 \text{ г/л, «класс 6» («cl\#6»)} - \text{не ограничивается}\}.$

Примеры функции принадлежности для входных лингвистических переменных представлены на рис. 1 и рис. 2.

Система управления, контролируя процесс сушки зерна в зерносушилке под руководством оператора должна запомнить процедуру управления в виде продукции с лингвистической оценкой. Для отбора продукции и создания на их основе базы знаний вводятся критерии отбора параметров процесса сушки зерна под руководством оператора с максимальным значением функции принадлежности.

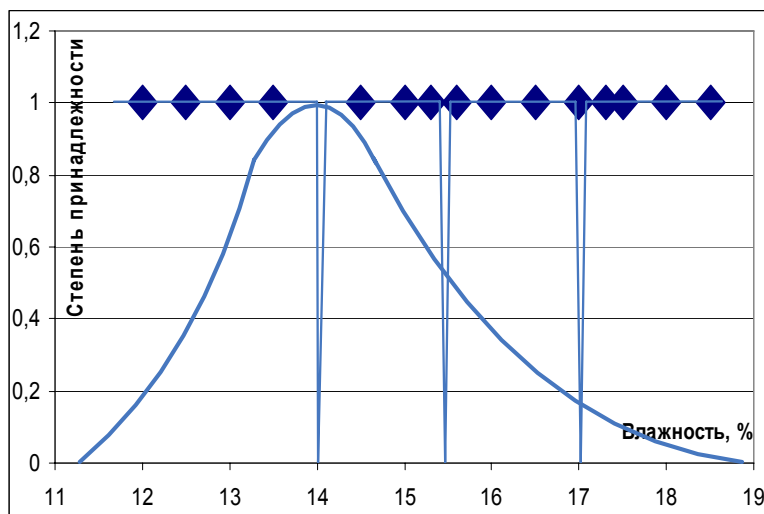
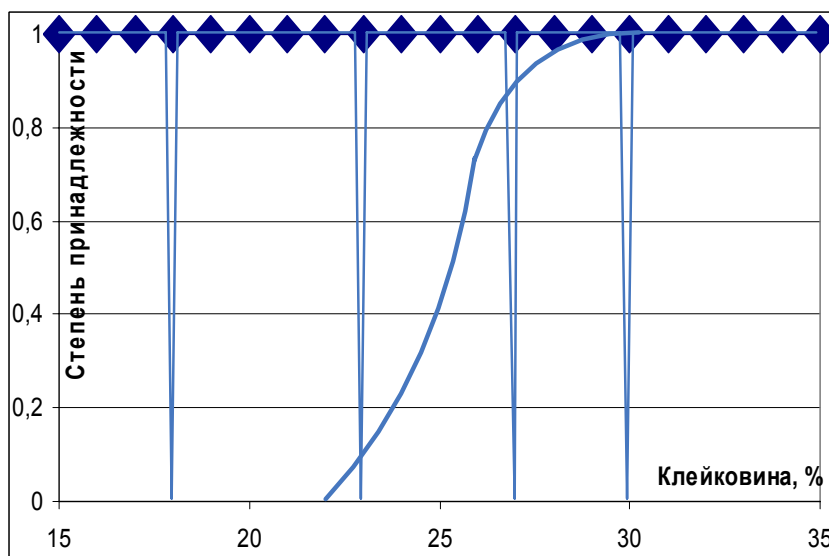


Рис. 1. Функция принадлежности лингвистической переменной «Влажность исходного зерна» (« $W_{вх}$ ») для пшеницы



Сухое Среднее сухое

Рис. 2. Функция принадлежности лингвистической переменной «Количество и качество клейковины» (« $K_3 K$ ») для пшеницы класса 2.

В качестве критериев для оценки процедуры сушки зерна оператором выступают восемь лингвистических переменных. Они показывают отклонение от целевых значений качественных показателей данной партии зерна и определены нечетким множеством («откл $A_{\text{вых}}$ »).

1.«Отклонение в параметре Температура сушильного агента. На входе в сушильную шахту первой зоны» («откл $T_{a2.1}$ »); 2.«Отклонение в параметре Температура сушильного агента. На входе в сушильную шахту второй зоны» («откл $T_{a2.2}$ »); 3. «Отклонение в параметре Температура зерна. Последний ряд коробов второй зоны» («откл T_3 »); 4. «Отклонение в параметре Температура охлажденного зерна. После сушки» («откл $T_{3.охл}$ »); 5. «Отклонение в параметре Конечная влажность зерна. После сушки» («откл $W_{\text{вых}}$ »); 6. «Отклонение в параметре Количество и качество клейковины» («откл $K_3 K_{\text{вых}}$ »); 7. «Отклонение в параметре Натура / объемная масса» («откл $K_3 H_{\text{вых}}$ »); 8. «Отклонение в параметре Примесь сорная» («откл $K_3 ПС_{\text{вых}}$ »).

Ниже представлен пример присвоения лингвистической оценки процедуре управления процессом сушки зерна.

Если ($_{\text{откл}} W_{\text{вых}} \leq 1\%$, и $_{\text{откл}} T_3 \leq 5 \text{ } ^\circ\text{C}$, и) **то** лингвистическая оценка «отлично»;

Если ($1.1\% <_{\text{откл}} W_{\text{вых}} \leq 2\%$, и $_{\text{откл}} T_3 \leq 10 \text{ } ^\circ\text{C}$, и ...) **то** лингвистическая оценка «хорошо»;

Если ($2.1\% <_{\text{откл}} W_{\text{вых}} \leq 3\%$, и $_{\text{откл}} T_3 \leq 15 \text{ } ^\circ\text{C}$, и ...) **то** лингвистическая оценка «удовлетворительно»;

Если ($3.1\% <_{\text{откл}} W_{\text{вых}}$, и $_{\text{откл}} T_3 \leq 20 \text{ } ^\circ\text{C}$, и) **то** лингвистическая оценка «неудовлетворительно».

На рис. 3 представлен пример функции принадлежности для лингвистической переменной «Отклонение в параметре Конечная влажность зерна. После сушки» («откл $W_{\text{вых}}$ »), совмещенный с лингвистической оценкой.

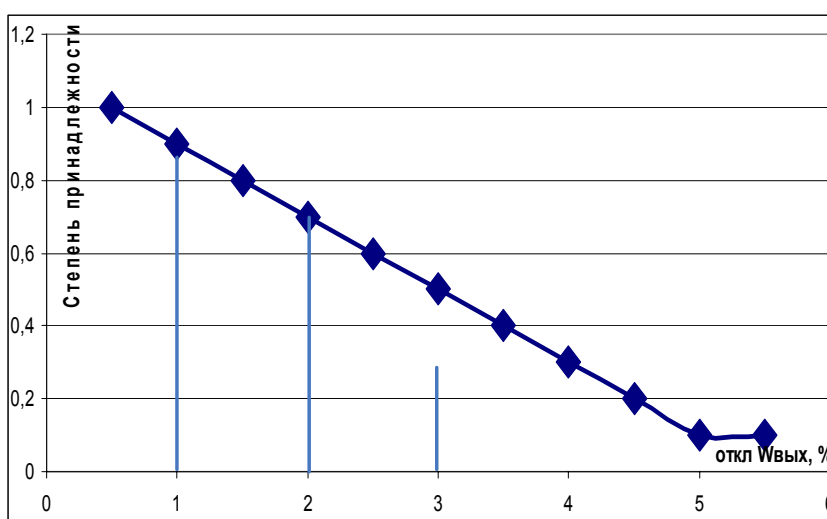


Рис. 3. Функция принадлежности лингвистической переменной «Отклонение в параметре Конечная влажность зерна. После сушки».

Алгоритм обучения процедуре сушки зерна под руководством оператора приведен на рис. 4. Преимуществом представленного алгоритма является возможность улучшения процедуры сушки зерна в процессе работы.

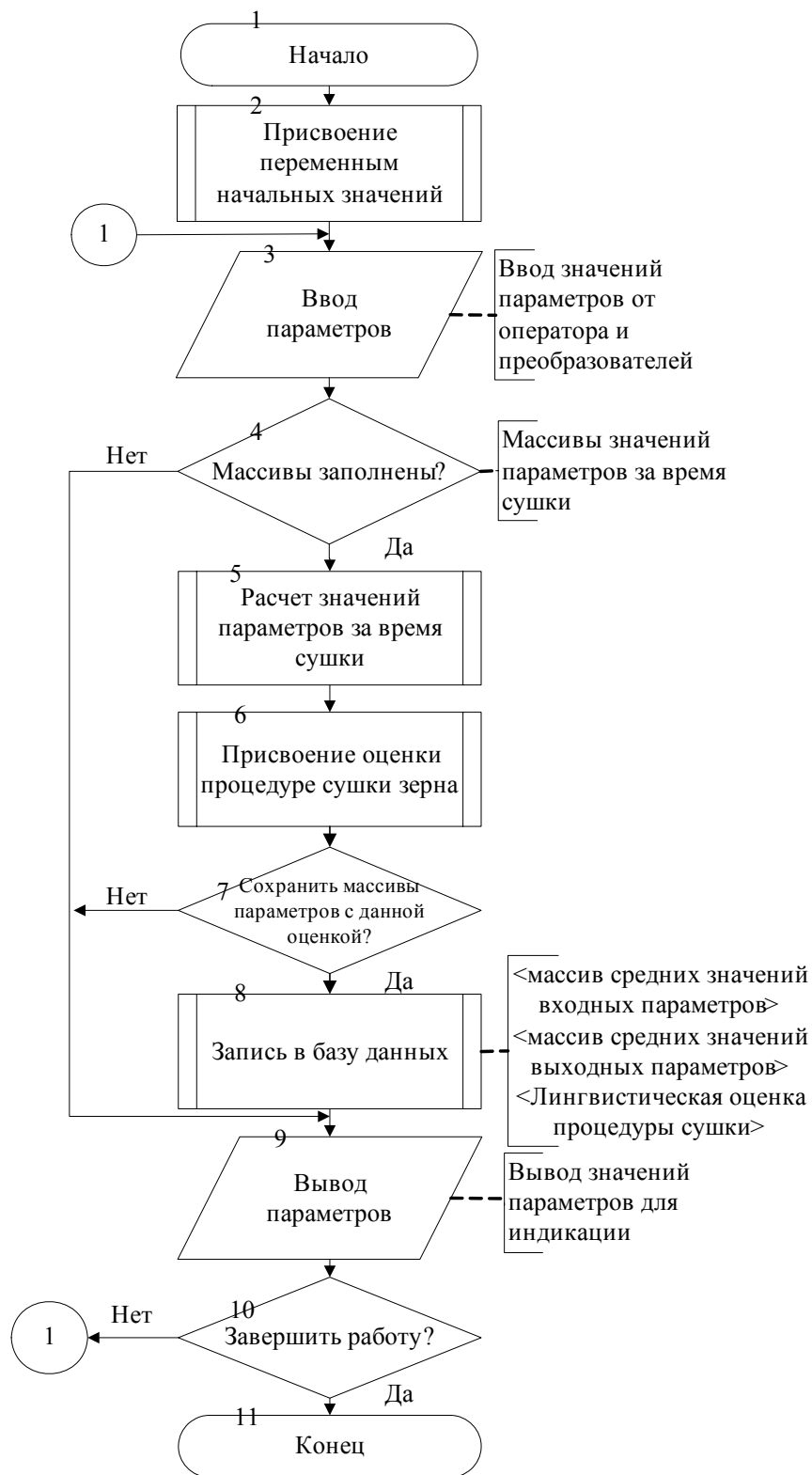


Рис. 4. Схема программы обучения процедуре сушки зерна под руководством оператора

Выводы. Обосновано применение математического аппарата нечетких множеств для построения модели управления процессом сушки зерна в шахтных зерносушилках. Пояснен принцип и условия применения системы управления процессом сушки зерна. Представлен перечень входных сигналов и данных, выходных сигналов, перечень лингвистических переменных, примеры функции принадлежности параметров, критерии оценки качества процедуры сушки зерна, алгоритм обучения процедуре сушки зерна под руководством оператора. Система проработана до изготовления образцов, которые проходят опытную эксплуатацию

Список литературы

1. Жидко В.И. Математическое описание процесса в шахтных зерносушилках / В.И. Жидко, П.Н. Платонов, А.С. Бомко, Ю.Н. Митрофанов // Изв. ВУЗов: Пищевая технология. 1965. №5. – С. 173...178.
2. Хобин В.А., д.т.н., ОНАПТ Совершенствование систем автоматического управления режимами работы зерносушилок как основа повышения их эффективности // «Хранение и переработка зерна».- апрель№4(70).- 2005.- с. 41-44.
3. Основы математического моделирования. Построение и анализ модели с примерами на языке MATLAB. Д.Л.Егоренков, А.Л.Фрадков, В.Ю.Харламов. Под ред. А.Л.Фрадкова.- БГТУ. СПб.- 1996.
4. Михалев А.И., Лысая Н.В., Лысый Д.А., Гладких В.А., Лысенко В.Ф. Оптимизация параметров процессов ферросплавного производства с использованием методов нечеткого вывода. - Днепропетровск: Системные технологии, 2008.-130 с.
- 5 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.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Мещеряковим Л.І.
Надійшла до редакції 17.06.11*

УДК 622.45

© Н.Ф. Кременчуцкий, О.А. Муха, Е.В. Столбченко

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ МЕСТНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Визначається витрата повітря і час провітрювання гірничої виробки після раптових викидів вугілля і газу.

Определяется расход воздуха и время проветривания горной выработки после внезапных выбросов угля и газа.

The expense of air and time of ventilation the mountain making is determined after the sudden troop landings of coal and gas

Введение. Увеличение глубины добычи угля существенно усложняют горно-геологические условия, в результате чего увеличивается возможность взрывов газа и пыли, что и определяет значительную аварийность горных ра-