

А. П. Гришин, д-р техн. наук, зав. лаб., 5145411@mail.ru,
А. А. Гришин, канд. экон. наук, зав. отд., 5145412@mail.ru,
В. А. Гришин, мл. научн. сотр., 5145409@mail.ru, **З. А. Годжаев**, д-р техн. наук, зам. директора,
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва

Применение аппарата нечеткой логики в задачах автоматизации технологических процессов сельского хозяйства

Показано, что в условиях реального мира знания качественного характера часто обладают гораздо большей полезностью, чем знания количественные. Дан краткий обзор практического применения аппарата нечеткой логики в системах автоматизации управления технологическими процессами сельского хозяйства. В частности, рассмотрен нечеткий регулятор температуры ростовой камеры с приведением расчетных зависимостей и алгоритма управления температурой методом нечеткого моделирования.

Ключевые слова: нечеткая логика, климатическая камера, фитотрон, интеллектуализация системы управления

Введение

В начале 1980-х гг. получила развитие теория нечетких множеств и нечеткая логика, позволяющая описывать качественные, неточные понятия и наши знания об окружающем мире, а также оперировать этими знаниями в целях получения нужной информации [1].

Причинами быстрого развития аппарата нечетких множеств и нечеткой логики для систем управления являются:

- возможность построения систем управления в условиях наличия информации лишь качественного характера;
- малая чувствительность систем управления к параметрическим возмущениям объекта управления;
- малая трудоемкость построения систем управления сложными объектами.

Наиболее встречаемым видом неопределенности при решении задач автоматизации технологических процессов с участием живых организмов, характерных для сельскохозяйственного производства, является неопределенность, связанная с невозможностью контроля параметров этих процессов во всех требуемых точках объекта, и, как следствие, неточность задания начальных и граничных условий, а также переменных в расчетных моделях [2]. Однако в этой области применение аппарата нечеткого моделирования находится в начальной стадии, и попытки применить его на практике не находят должного подтверждения. Отсутствует информация о результатах такого применения [3, 4]. Кроме того, детальная теория такого применения в работах отсутствует или носит общий характер.

В данной статье авторами предпринята попытка устранить отмеченные недостатки. Приводится обзор применения нечетких регуляторов в сельхозпроизводстве с кратким освещением вопросов теории нечеткой логики и примерами возможного ее применения для сельхозпроизводства. Подробно описана работа нечеткого регулятора температуры ростовой камеры, приведены расчетные зависимости и алгоритм управления температурой с использованием нечеткого моделирования.

Преимущества и недостатки нечетких регуляторов в задачах автоматизации технологических процессов сельского хозяйства

Общей предпосылкой для применения нечетких регуляторов, как уже отмечено выше, служат два фактора — наличие неопределенности и наличие информации качественного характера, необходимой при построении системы управления с элементами интеллектуализации. Последний фактор имеет принципиальное значение, поскольку такой характер информации требует участия интеллекта.

Преимущество систем управления с элементами интеллектуализации перед традиционными автоматизированными системами управления (АСУ) при управлении сложными технологическими процессами с участием живых организмов обусловлено тем, что они работают не только с количественной, но и с качественной информацией. Такая информация характерна для базы знаний, где описаны причинно-следственные взаимосвязи в каждой конкретной ситуации, имеются данные о возможном дальнейшем развитии событий в управляющей системе и переходе к другой ситуации в за-

висимости от предпринятых действий, а также имеется другая информация методического характера.

Для примера рассмотрим систему стабилизации давления в сети водоснабжения животноводческого комплекса [5, 6], оперирующую количественными данными, где блок сравнения вычисляет сигнал рассогласования и выдает его на вход регулятора, регулирующее воздействие поступает на исполнительный элемент, влияющий на давление в сети (частотно-регулируемый насос, электроприводной вентиль), что обеспечивает заданное давление в сети. Работа такой системы будет безупречна, если ее взаимодействие с окружающим миром было формально количественно описано на этапе синтеза регулятора и реально никогда не выходит за рамки этого описания. Но реальный мир одними количественными данными задать нельзя, поскольку он описывается не только количественными характеристиками с применением математических терминов, но и качественными с использованием средств естественного языка. Представим себе несколько нештатных ситуаций, приводящих к изменению сигнала датчика давления:

- в сети при максимальном водоразборе произошла авария с разрывом трубопровода;
- в месте установки датчика происходит утечка воды;
- датчик вышел из строя.

Данный список нештатных ситуаций можно продолжить. Во всех случаях автоматика реагирует, изменяя давление в сети и приближая его к заданному значению, что приведет к усугублению нештатной ситуации.

Теперь представим, что стабильное давление в сети пытается поддержать человек, а не АСУ с помощью манометра ручного регулятора преобразователя частоты и производительности насоса. Тогда, если произошел прорыв трубопровода, и давление резко снизилось, то вместо того, чтобы включать насос на полную мощность, человек сначала устранил аварию.

Почему человек как "устройство управления" нередко оказывается более приемлемым? Потому, что он обладает не только данными, но и, самое главное, знаниями о системе. Например, знает, что пока возникшую интенсивную утечку воды перекрыть нельзя, то качать воду в сеть бесполезно. А если чего-то человек и не знает, то сможет сделать выводы по наблюдаемым данным и, таким образом, пополнить свои знания. В отличие от АСУ человек оперирует не только точной количественной информацией (показаниями манометра), но и качественной информацией (например, "в сети слишком большое давление", а не "давление в сети 10 атмосфер"). Это объясняется тем, что знания об окружающем нас мире далеко не всегда могут быть четко описаны количественными характеристиками. Поэтому для успешного взаимодействия с реальным миром необходимо оперировать не только количественными, но и качественными знаниями,

в том числе неопределенными (нечеткими), например: давление воды в сети 2 атмосферы (это количественное четкое знание); давление воды в сети значительно выше 0,5 атмосферы (это количественное нечеткое знание).

Основные положения аппарата нечеткой логики на примерах сельскохозяйственной направленности

Математический аппарат нечетких знаний или нечетких множеств, нечеткой логики впервые предложен американским ученым Лотфи Заде (Lotfi Zadeh) в 1965 г. [7]. Для описания нечетких множеств вводятся понятия *нечеткой и лингвистической переменных*.

Характеристикой нечеткого множества выступает функция принадлежности. Нечетким множеством C называется множество упорядоченных пар вида $C = \{\mu_f(x)/x\}$. Значение $\mu_f(x) = 0$ означает, что x не принадлежит множеству C , а значение 1 — означает, что x принадлежит множеству C , где $x \in X$ — универсальное множество.

Формализуем неточное определение *"температура почвы"*. В качестве x (область рассуждений) будет выступать шкала в градусах Цельсия. Допустим, что температура изменяется от 0 до 40 °С. Нечеткое множество "Оптимальная" для понятия "оптимальная температура для растения" может выглядеть следующим образом:

$$C = \{0/0; 0/5; 0/10; 0,5/15; 0,80/20; 1,0/25; 0,70/30; 0,30/35; 0/40\}.$$

Так, температура почвы 20 °С принадлежит к множеству "Оптимальная" со степенью принадлежности 0,80. Для определенных растений в определенный этап роста температура почвы 25 °С будет приближенной к оптимальной, для других растений — слишком высокой. Именно в этом и проявляется нечеткость задания соответствующего множества.

Кроме нечетких множеств аппарат использует понятия *нечеткой переменной и лингвистической переменной*. Значениями лингвистической переменной могут быть нечеткие переменные.

Нечеткая переменная описывается набором (N, X, C) , где N — это название переменной, X — универсальное множество (область рассуждений), C — нечеткое множество на X .

Рассмотрим такое нечеткое понятие, как *"влажность зерна"*. Это название лингвистической переменной. Сформируем для нее базовое терм-множество, которое будет состоять из трех нечетких переменных: "Низкая", "Умеренная", "Высокая" и зададим область рассуждений в виде $X = [0; 100]$ (%). Последнее, что осталось сделать — построить функции принадлежности для каждого лингвистического термина из базового терм-множества T .

Существует свыше десятка типовых форм кривых для задания функций принадлежности. Наибольшее

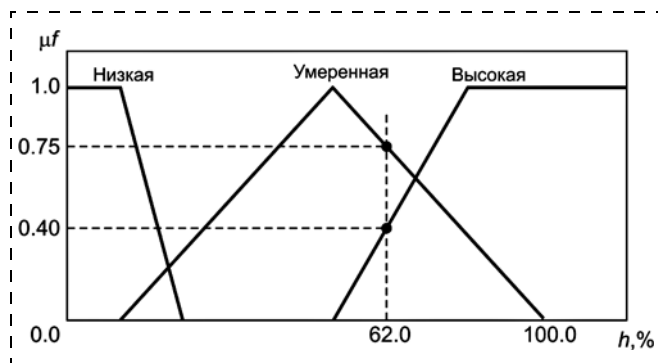


Рис. 1. Описание лингвистической переменной "Влажность зерна"

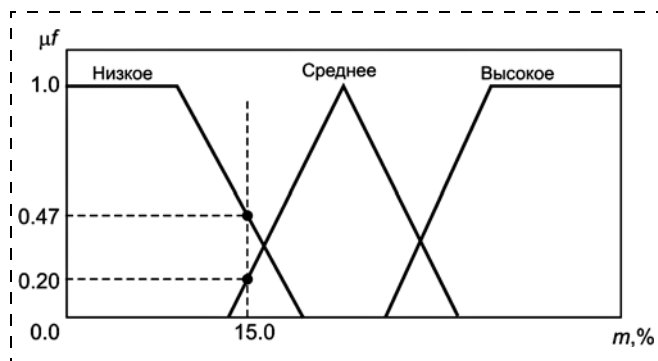


Рис. 2. Описание лингвистической переменной "Загрязнение зерна примесями"

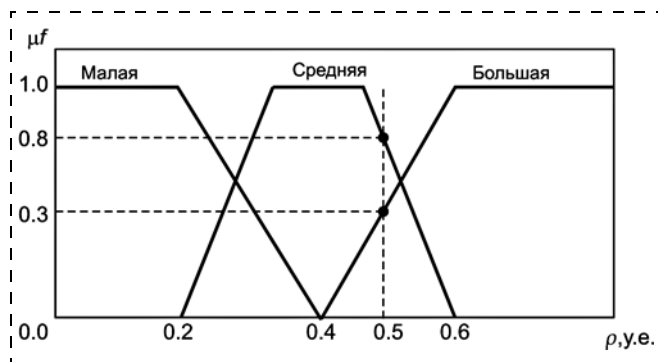


Рис. 3. Входные и выходные функции принадлежности лингвистической переменной "плотность почвы"

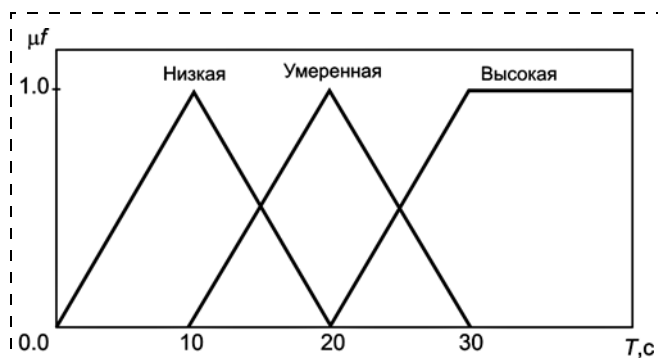


Рис. 4. Входные и выходные функции принадлежности лингвистической переменной "длительность поступательного движения актуатора"

распространение получили: треугольная, трапецидальная и гауссова функции принадлежности.

На рис. 1 приведен пример описанной выше лингвистической переменной "влажность зерна" для значения $X = 62,0 \%$: степень принадлежности к множеству "Низкое" равна 0, "Умеренное" — 0,75, "Высокое" — 0,4, на рис. 2 — формализация нечеткого понятия "загрязнение зерна примесями". Так, для зерна с 15 % примесей степень принадлежности к множеству "Низкое" равна 0,47, "Среднее" — 0,2, "Высокое" — 0,0.

Основой для проведения операций нечеткой логики является база правил и функции принадлежности для соответствующих лингвистических термов. Они позволяют при построении нечетких регуляторов осуществлять нечеткие выводы.

В общем случае механизм логического вывода включает четыре этапа: введение нечеткости (фазификация), нечеткий вывод, композиция и приведение к четкости, или дефазификация.

Алгоритмы нечеткого вывода различаются главным образом видом метода дефазификации. Наиболее распространенный способ логического вывода в нечетких регуляторах — вывод Мамдани или центроидный метод.

Таким образом, для того чтобы интеллектуальная САУ обладала близкой к человеческой возможностью работы со знаниями, необходима их формализация и представление в технической системе посредством некоего языка описания знаний, категориями которого система могла бы оперировать так же, как человек словами. Также очевидно, что для достижения большего эффекта интеллектуализации технической системы этот язык должен описывать все возможные виды знаний: количественные и качественные, четкие и нечеткие [8].

Например, рассмотрим задачу управления глубиной погружения в почву рабочего органа почвообрабатывающей машины при вспашке. Входным точным значением здесь является плотность почвы ρ , а выходным — длительность T действия актуатора — приводного механизма поступательного движения рабочего органа, определяющего глубину его погружения в почву.

Введем две лингвистические переменные: "плотность почвы" с термами "малая", "средняя", "большая" и "длительность поступательного движения актуатора" с термами "низкая", "умеренная", "высокая". Соответствующие входные и выходные функции принадлежности приведены на рис. 3, 4. Нечеткая инструкция для управления этой системой может сводиться к трем простым правилам: 1) при малой плотности почвы длительность поступательного движения актуатора должна быть низкой; 2) средней плотности должна соответствовать умеренная длительность поступательного движения актуатора; 3) в случае большой плотности требуется высокая длительность поступательного движения актуатора.

Как следует из рис. 3, области определения входных функций принадлежности различных термов пересекаются, поэтому выходная нечеткая инструкция будет представляться некоторой комбинацией приведенных правил. При этом естественно предположить, что в эту комбинацию отдельные правила будут входить с коэффициентами, определяемыми степенями принадлежности точных исходных данных соответствующих термов.

Пусть зафиксированное в некоторый момент значение плотности ρ равно 0,5. Процедура фаззификации показывает, что эта плотность со степенью 0,3 принадлежит терму "большая плотность" и со степенью 0,8 — терму "средняя плотность", а к терму "низкая плотность" не принадлежит. Согласно принятому правилу комбинирования нечетких выходных инструкций, степень принадлежности длительности поступательного движения актуатора должна быть большой с коэффициентом 0,3 и средней с коэффициентом 0,8. Применим центроидный метод дефаззификации Мамдани:

$$T = \frac{0,3 T_6 + 0,8 T_c}{0,3 + 0,8} = 22,7 \text{ с},$$

где T_6 и T_c — длительности поступательного движения актуатора, при которых выходные функции принадлежности соответствующих термов ("большая" и "средняя") принимают максимальные значения. В нашем случае $T = 22,7$ с.

Применение нечеткого регулятора для управления продуктивностью растения в вегетационных климатических камерах

В процессе хозяйственной деятельности человеком создаются антропогенные (искусственные) экосистемы. Наиболее распространенной экосистемой, где влияние окружающей среды почти полностью исключается, является теплица.

Независимо от типа экосистемы поток энергии претерпевает следующее изменение [9]: энергия оптического излучения в процессе химической реакции фотосинтеза переходит в химическую энергию углеводов. Скорость преобразования энергии определяется скоростью фотосинтеза ϕ , что непосредственно влияет на продуктивность растения.

Зависимость скорости фотосинтеза ϕ от параметров внешних факторов определяют энергопреобразующие характеристики (ЭПХ) растения, они же определяют оптимальные значения параметров, соответствующие максимуму скорости фотосинтеза. К ним относятся:

- плотность оптического излучения светового потока;
- температура и влажность окружающего воздуха;
- влагообеспеченность;
- солевой состав питательного раствора;
- концентрация CO_2 .

На рис. 5 представлены зависимости скорости фотосинтеза (они же ЭПХ) культуры огурца сорта

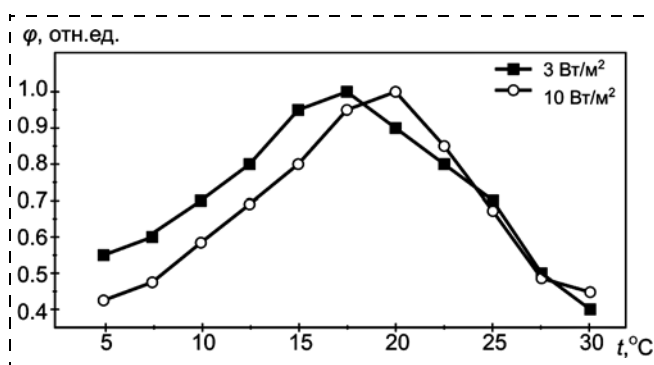


Рис. 5. Зависимость скорости фотосинтеза от температуры листа

"Эстафета" при различных температурах и плотностях облучения (по В. А. Мудрику).

Внешние факторы (особенно климатические) оказывают ограничивающее воздействие на скорость фотосинтеза, а значит и на продуктивность растениеводства.

Так, при максимально возможной спектральной эффективности солнечного излучения при фотосинтезе, равной 21 %, из-за действия ограничивающих факторов на фотосинтез идет лишь 1 % солнечного излучения.

В искусственных экосистемах закрытого типа — вегетационных климатических камерах (ВКК) — эту проблему возможно решить, обеспечивая оптимальные параметры внешних факторов автоматически по реакции растения, характеризующей скорость фотосинтеза (контролируя концентрацию CO_2 и/или температуру листа).

При таком варианте поддержание температуры и других параметров на оптимальном уровне будет осуществляться автоматически по сигналу датчиков, например, CO_2 и/или температуры, установленных на растении.

Растение само будет обеспечивать себя нужными условиями для максимальной скорости фотосинтеза.

В ФГБНУ ФНАЦ ВИМ разработана ВКК с полностью контролируемыми внешними факторами, где применена интеллектуализированная система управления температурой на поверхности листа растения с помощью нечеткого регулятора и пирометрического датчика температуры [10].

Регулятор построен исходя из следующих двух предположений:

- на скорость фотосинтеза наибольшее влияние оказывает температура растения (температура листа);
- температура должна поддерживаться на уровне, соответствующем максимуму фотосинтеза.

На рис. 6 представлена лингвистическая переменная "температура листа" с оптимумом $19 ^\circ\text{C}$. Понятие "низкая температура" по отношению к нему будет иметь функцию принадлежности (т. е. качественную оценку) $\mu(t) = 1$, начиная с $18 ^\circ\text{C}$, и

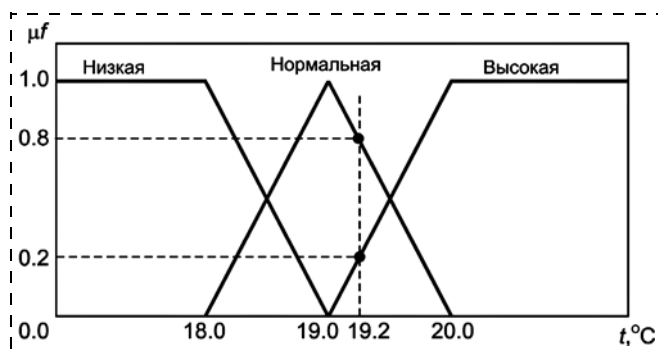


Рис. 6. Описание лингвистической переменной "температура листа"

ноль при оптимуме, снижаясь по мере увеличения температуры от 18 до 19 °С.

Аналогично для понятия высокая температура. По мере увеличения с 19 до 20 °С функция принадлежности (качественная оценка) $\mu(t)$ будет увеличиваться от 0 до 1, обеспечивая качественным смыслом оптимум 19 °С в области высоких температур.

Таким образом, для регулятора роль уставки играет не только фиксированное количественное значение 19 °С, но и качественные его значения — низкая температура или высокая.

Поскольку в ВКК в качестве источников оптического излучения используются люминесцентные лампы с преобладанием в спектре красного и синего излучений, имеющие значительное тепловое излучение, то в качестве рабочего органа — охладителя, регулирующего температуру, — применен кондиционер. Его действие также описывается лингвистической переменной "охлаждающая способность охладителя" (рис. 7). Охлаждающая способность определяется временем действия охладителя, которое также имеет не только количественную, но и качественную оценку.

Для лингвистической переменной, определяющей время работы системы охлаждения, будут действительны три терма: малое время работы со степенью принадлежности 1 при $T = 1$ мин работы,

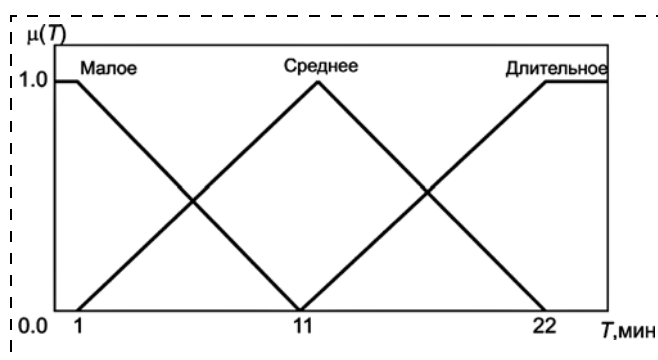


Рис. 7. Описание лингвистической переменной "охлаждающая способность охладителя"

среднее время работы со степенью принадлежности 1 при $T = 11$ мин работы и длительное время работы со степенью принадлежности 1 при $T = 22$ мин работы.

Из опыта установили, что для понижения температуры поверхности до 18 °С требуется время $T = 22$ мин (при исходной температуре свыше 20 °С).

Определение длительности работы охладителя рассчитываем по методу логического вывода Мамдани:

$$T_{\text{охл}} = \begin{cases} \frac{\mu_{\text{низ}} \cdot 1 + \mu_{\text{норм}} \cdot 11}{\mu_{\text{низ}} + \mu_{\text{норм}}} & \text{при } 18 < t \leq 19; \\ \frac{\mu_{\text{низ}} \cdot 11 + \mu_{\text{высок}} \cdot 22}{\mu_{\text{низ}} + \mu_{\text{высок}}} & \text{при } 19 < t < 20; \\ 22 & \text{при } t \geq 20; \\ 0 & \text{при } t \leq 18. \end{cases}$$

Пусть зафиксированное в некоторый момент значение температуры листа равно 19,2. Процедура фазификации показывает, что эта плотность со степенью 0,2 принадлежит терму "высокая температура" и со степенью 0,8 — терму "нормальная температура", а к терму "низкая температура" не принадлежит. Согласно принятому правилу комбинирования нечетких выходных инструкций, степень принадлежности длительности охлаждения должна быть длительной с коэффициентом 0,2 и средней с коэффициентом 0,8. Применим центроидный метод дефазификации Мамдани:

$$T_{\text{охл}} = \frac{0,2 T_{\text{дл}} + 0,8 T_{\text{с}}}{0,2 + 0,8} = 13,2 \text{ мин},$$

где $T_{\text{дл}}$ и $T_{\text{с}}$ — длительности охлаждающего действия, при которых выходные функции принадлежности соответствующих термов ("длительное" и "среднее") принимают максимальные значения. В нашем случае $T = 13,2$ мин.

Для обеспечения необходимой температуры вегетационной климатической камеры нами был реализован алгоритм для промышленного логического контроллера [11], обеспечивающий выполнение данной нечеткой логики, представленный на рис. 8.

Проведены рабочие испытания макетного образца адаптивной интеллектуализированной системы выращивания мини клубней картофеля в вегетационной климатической камере с системой управления, следящей за отдельными физиологическими процессами, регистрирующей их и согласовывающей воздействие внешних условий с физиологическим состоянием растения по программе, задаваемой самим растением.

Испытания показали удовлетворительные результаты: система отслеживает и контролирует влияние температуры окружающей среды и реакцию на изменение данных параметров со стороны растений, оказывает превентивное воздействие на систему управления температурой в камере для

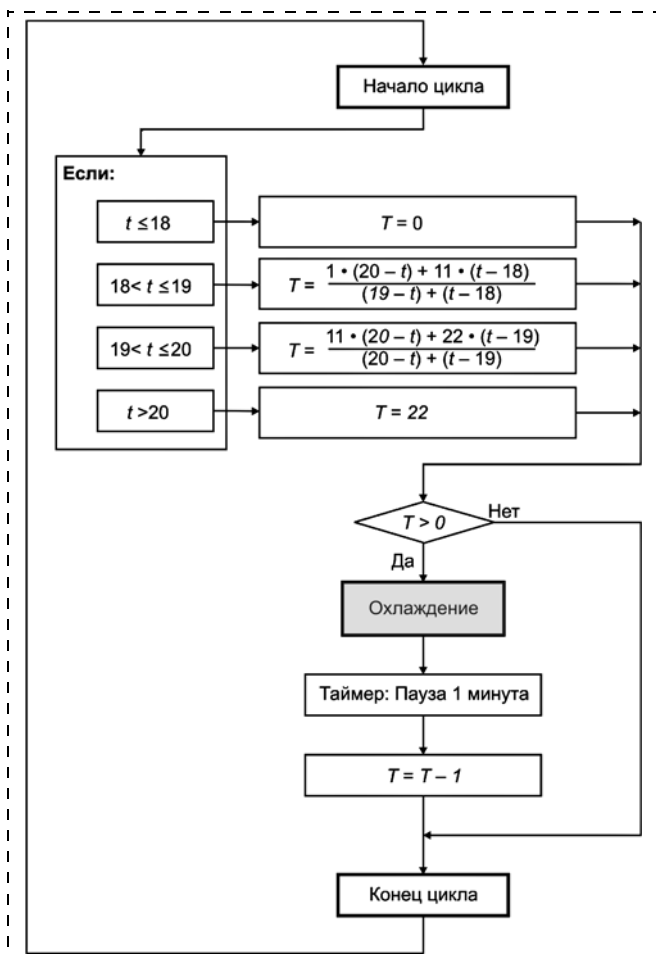


Рис. 8. Алгоритм управления температурой в ростовой камере для ПЛК

обеспечения стабильной температуры на поверхности листа. При такой системе регулирования температуры камеры число микроклубней на одном растении достигало 15...17 штук против 10 штук при предшествующей дискретной системе управления.

Заключение

В 1994 г. Л. Заде ввел специальный термин "мягкие вычисления" (soft computing), который в настоящее время объединяет такие области систем управления с элементами искусственного интеллекта, как нечеткая логика, искусственные нейронные сети, вероятностные рассуждения и эволюционные алгоритмы. Они дополняют друг друга и используются в различных комбинациях для создания гибридных интеллектуальных систем.

Влияние нечеткой логики оказалось, пожалуй, самым обширным. В условиях реального мира знания качественного характера обладают не меньшей, а нередко гораздо большей полезностью, чем знания количественные. Более того, большинство проблем человеку приходится решать, изначально опираясь только на нечеткие знания, в частности,

это характерно для сельскохозяйственного производства, где широкий спектр неопределенностей продиктован участием в технологических процессах живых организмов.

Список литературы

1. Lotfi Zadeh. From computing with numbers to computing with words — from anipulation of measurements to manipulation of perceptions // International Journal of Applied Math and Computer Science. 2002. Vol. 12, N. 3. P. 307—324.
2. Измайлов А. Ю., Гришин А. А., Гришин А. П., Лобачевский Я. П. Интеллектуальная автоматизация технических средств сельскохозяйственного назначения // Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий: Сб. науч. докл. Междунар. науч.-техн. конф. М.: ФГБНУ ВИМ, 2014. С. 359—362.
3. Фаталиев К. Х., Гаджиев И. М., Гусейнов С. Т., Ибадов Н. В., Ибрагимов Н. Т. Компьютерная модель нечеткого контроллера для управления температурными режимами комбинированной системы теплоснабжения пленочных теплиц // Тр. 8-й Междунар. науч.-техн. конф. "Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве". Часть 5. М.: ВИЭСХ, 2012. С. 183—188.
4. Фельдшеров А. Ю. Управление движением электротрактора с использованием метода нечеткой логики // 6-я Междунар. науч.-техн. конф. "Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве". Секция 1. Проблемы энергообеспечения и энергосбережения. М.: ВИЭСХ. С. 185—189.
5. Гришин А. А., Гришин А. П., Гришин В. А. Современное оборудование для водопользования — необходимая часть системы машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства // Система технологий и машин для инновационного развития АПК России: Сб. науч. докл. Междунар. науч.-техн. конф. Часть II. М.: ВИМ, 2013.
6. Свидетельство № 2017614845 от 27.04.2017. Программа управления центробежным скважинным электронасосом для программируемых логических контроллеров. Гришин А. А., Гришин А. П., Гришин В. А.
7. Fay L. Zadeh. My life and travels with the father of fuzzy logic. TSI Press: Albuquerque, 1998. 310 p.
8. Измайлов А. Ю., Гришин А. А., Гришин А. П., Лобачевский Я. П. Нечеткие регуляторы интеллектуальной автоматизации технических средств сельскохозяйственного назначения // Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий: Сб. науч. докл. Междунар. науч.-техн. конф. М.: ФГБНУ ВИМ, 2014. С. 408—412.
9. Свентицкий И. И., Гришин А. П., Гришин А. А., Мудрик В. А. Естественная методология определения уровня эффективности агротехнологий // Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий: Сб. науч. докл. Междунар. науч.-техн. конф. М.: ФГБНУ ВИМ, 2014. С. 429—434.
10. Гришин А. П., Гришин А. А. Интеллектуальное управление температурой в ростовой камере для производства микроклубней // Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий: Сб. науч. докл. Междунар. науч.-техн. конф. М.: ФГБНУ ВИМ, 2014. С. 382—386.
11. Свидетельство № 2017614816 от 27.04.2017. Программа управления климатом вегетационной камеры с использованием нечеткой логики. Гришин А. А., Гришин А. П., Гришин В. А., Измайлов А. Ю.

Application Features of Fuzzy Logic for Automation Tasks in Agricultural Technological Processes

A. P. Grishin, 5145411@mail.ru, A. A. Grishin, 5145412@mail.ru,
V. A. Grishin, 5145409@mail.ru, Z. A. Godzhaev, fic51@mail.ru,
FGBNU FNAC VIM, Moscow, 109428, Russian Federation

Corresponding author: Grishin Aleksandr P., D. Sc., Senior Scientific,
FGBNU FNAC VIM, Moscow, 109428, Russian Federation,
e-mail: 5145411@mail.ru

Accepted on October 10, 2017

The article considers aspects of using the based on fuzzy logic ISA in agriculture. It is shown that in the real world knowledge of a qualitative nature, are often much more useful than quantitative knowledge. It shows on statements of fuzzy controllers, that the most of problems man must solve initially based on fuzzy knowledge. Especially for agricultural production, where a wide range of uncertainty dictated by the participation in technological processes of living organisms. Shows a brief sketch of the mathematical apparatus of fuzzy knowledge, with explanatory examples from the field of agriculture. It is shown that the characteristics of a fuzzy set acts as a accessory function. In addition to the fuzzy sets Apparatus uses the concepts of fuzzy variable and linguistic variable, which is at a higher level than fuzzy variable. There are over a dozen typical forms of curves to define the membership functions. The most used are: triangular, trapezoidal and Gaussian accessory functions. Globally the logical inference mechanism consists of four steps: introduction of fuzziness (phasification), fuzzy inference, composition and bringing to clarity, or dephasification. The most common method of inference in fuzzy controllers — Mamdani inference. It uses the min-max composition of fuzzy set to intelligent ACS had close to human ability to work with knowledge requires their formalization and representation in the technical system by means of a description language knowledge categories which the system could operate in the same way as people with words. It is also clear that to achieve greater effect of intellectualization of the technical system, this language must describe all possible types of knowledge: quantitative and qualitative, crisp and fuzzy. In conclusion given a brief review of the practical application of IMS on the fuzzy logic basis in agricultural production by bringing the calculated dependencies of the algorithm for temperature control using fuzzy modeling.

Keywords: fuzzy logic, climatic chamber, phytotron, intelligent systems management

Acknowledgements: This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research, project no. 10.09.05.01.

For citation:

Grishin A. P., Grishin A. A., Grishin V. A. Godzhaev Z. A. Application Features of Fuzzy Logic for Automation Tasks in Agricultural Technological Processes, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2018, vol. 19, no. 1, pp. 40—46.

DOI: 10.17587/mau.19.40-46

References

1. Zadeh L. From computing with numbers to computing with words — from anipulation of measurements to manipulation of perceptions, *International Journal of Applied Math and Computer Science*, 2002, vol. 12, no. 3, pp. 307—324.
2. Izmajlov A. Yu., Grishin A. A., Grishin A. P., Lobachevsky Ya. P. *Intellektualnaya avtomatizatsiya tekhnicheskikh sredstv sel'skohozyajstvennogo naznacheniya* (Intelligent automation of agricultural technics), *Innovacionnoe razvitie APK Rossii na baze intellektual'nyh mashinnyh tekhnologij*, Proc. of the Intern. scientific-techn. Conf., Moscow, FGBNU FNAC VIM, 2014, pp. 359—362 (in Russian)
3. Fataliev K. H., Gadzhiev I. M., Gusejnov S. T., Ibadov N. V., Ibragimov N. T. *Komp'yuternaya model' nechetkogo kontrollera dlya upravleniya temperaturnymi rezhimami kombinirovannoj sistemy teplo-snabzheniya plenochnyh teplic* (A computer model of fuzzy controller for temperature control modes in the combined system of greenhouses heat supply), Proc. of 8th Intern. scientific-techn. Conf. "Energoobespechenie i energosberezhenie v sel'skom hozyastve", vol. 5, Moscow, VIESH, 2012, pp. 183—188 (in Russian)
4. Feldsherov A. Yu. *Upravlenie dvizheniem ehlektrotraktora s ispol'zovaniem metoda nechetkoj logiki* (Electric tractor motion control with fuzzy logic method), Proc. of 6th Intern. scientific-techn. Conf. "Energoobespechenie i energosberezhenie v sel'skom hozyastve", Moscow, VIESH, 2010, pp. 185—189 (in Russian)
5. Grishin A. A., Grishin A. P., Grishin V. A. *Sovremennoe oborudovanie dlya vodopol'zovaniya — neobhodimaya chast' sistemy mashin i tekhnologij dlya kompleksnoj mekhanizatsii i avtomatizatsii sel'sko-*

hozyajstvennogo proizvodstva (Modern equipment for water management — a necessary part of system machines and technologies for complex mechanization and automation of agricultural production), *Sistema tekhnologij i mashin dlya innovacionnogo razvitiya APK Rossii*, Proc. of the Intern. scientific-techn. Conf., vol. 2, Moscow, VIM, 2013 (in Russian)

6. Cert. № 2017614845 27.04.2017. *Programma upravleniya centrobezhnym skvazhinnym ehlektronasosom dlya programmirovemyh logicheskikh kontrollerov* (The control program of centrifugal well electric pump for programmable logic controllers), Grishin A. A., Grishin A. P., Grishin V. A. (in Russian)

7. Fay Zadeh. My life and travels with the father of fuzzy logic, TSI Press, Albuquerkue, 1998, 310 p.

8. Izmajlov A. Yu., Grishin A. A., Grishin A. P., Lobachevskij Ya. P. *Nechetkie regulatory intellektual'noj avtomatizatsii tekhnicheskikh sredstv sel'skohozyajstvennogo naznacheniya* (Fuzzy controllers of intelligent automation for agricultural technical equipment), *Innovacionnoe razvitie APK Rossii na baze intellektual'nyh mashinnyh tekhnologij*, Proc. of the Intern. scientific-techn. Conf., Moscow, FGBNU VIM, 2014, pp. 408—412 (in Russian)

9. Sventickij I. I., Grishin A. P., Grishin A. A., Mudrik V. A. *Estestvennonauchnaya metodologiya opredeleniya urovnya ehffektivnosti agrotekhnologij* (Scientific methodology for determining the level of agricultural technologies efficiency), *Innovacionnoe razvitie APK Rossii na baze intellektual'nyh mashinnyh tekhnologij*, Proc. of the Intern. scientific-techn. Conf., Moscow, FGBNU VIM, 2014, pp. 429—434 (in Russian)

10. Grishin A. P., Grishin A. A. *Intellektual'noe upravlenie temperaturuj v rostovoj kamere dlya proizvodstva miniklubnej* (Intelligent control of temperature in the growth chamber for the production of minitubers), *Innovacionnoe razvitie APK Rossii na baze intellektual'nyh mashinnyh tekhnologij*, Proc. of the Intern. scientific-techn. Conf., Moscow, FGBNU VIM, 2014, pp. 382—386 (in Russian)

11. Cert. № 2017614816 27.04.2017. *Programma upravleniya klimatom vegetacionnoj kamery s ispol'zovaniem nechetkoj logiki* (Climate control program for growing chamber with fuzzy logic), Grishin A. A., Grishin A. P., Grishin V. A., Izmajlov A. Yu. (in Russian).