

УДК 631.171

DOI 10.25205/1818-7900-2018-16-3-64-73

Р. М. Бандишоева

*Таджикский технический университет им. М. С. Осими
пр. Академиков Раджабовых, 10, Душанбе, 734042, Таджикистан*

risolatbm@mail.ru

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОДУЛЯ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ПОЛИВНОЙ ВОДЫ

Статья посвящена разработке системы управления фертигацией, которая позволяет осуществлять автоматическую подачу удобрений с учетом показателей рН и ЕС, полученных от соответствующих датчиков. Для решения этой задачи разработан модуль минерализации, состоящий из двух подмодулей: подмодуль измерения и регулирования рН и подмодуль измерения и регулирования ЕС. Данные передаются микроконтроллеру для дальнейших действий по управлению системой. В качестве системы принятия решений в работе использована интеллектуальная система на основе нечеткой логики.

Ключевые слова: фертигация, нечеткий контроллер, минерализация, концентрация, раствор.

Введение

Подача удобрений к растениям через поливную воду называется фертигацией [1; 2]. Фертигация – это современная агротехнология, которая дает возможность увеличивать урожай и уменьшать загрязнение окружающей среды [3], при этом повышая эффективность использования удобрений. В фертигации контролируются время, количество и концентрация применяемых удобрений.

Состав фертигационного раствора подбирается с учетом потребностей культуры, фазы развития растения, субстрата. Важно учитывать соотношение между элементами питания на каждой стадии (преимущественно между основными микроэлементами – NPK). Для обеспечения баланса питательных веществ на средне- и тяжелосуглинистых темносероземных почвах Гиссарской долины при капельном орошении хлопчатника поливы необходимо осуществлять питательным раствором из расчета годовой нормы питательных веществ: азот – 250, фосфор – 180, калий – 60 кг/га [4]. Автоматическая система для подачи удобрений в поливную воду оснащена электрическим и гидравлическим управляемыми клапанами, а также автоматическим контролем и коррекцией рН и ЕС (кислотность и электропроводность). При выборе удобрения для фертигации следует рассматривать 4 основных фактора [3]:

- вид растения и стадии развития;
- почвенные условия;
- качество пресной воды;
- доступность удобрения и цена.

Разработанные модули имеют в своем составе датчики для измерения рН и ЕС раствора удобрения и почвы. Надо отметить, что рН и ЕС являются двумя важными показателями фертигации. Величина рН – это показатель кислотности раствора, т. е. соотношения кислоты и

Бандишоева Р. М. Разработка автоматизированного модуля минерализации поливной воды // Вестн. НГУ. Серия: Информационные технологии. 2018. Т. 16, № 3. С. 64–73.

щелочи ($1 \div 14$), где 1 – кислота, 14 – щелочь. Определяет способность растения усваивать питательные вещества из раствора.

Электропроводность прямо пропорциональна расстоянию между электродами L и обратно пропорциональна площади этих электродов S , которые опущены в раствор, т. е. $R = \rho(L/S)$, где ρ – удельное сопротивление раствора.

В работе создана автоматическая система управления фертигацией на основе нечеткого контроллера с учетом основных показателей датчиков и данных, полученных из базы знаний. Данные передаются микроконтроллеру для дальнейших действий по управлению системой. В модуле рН система корректирует значение рН в смесительном резервуаре с помощью подачи в раствор кислоты или щелочи, а в модуле ЕС система, получая данные о количестве минеральных удобрений в воде, корректирует скорость истечения поливной воды.

Заранее (по экспертным оценкам) в системе установлены значения величины рН и количество кислоты / щелочи, которое должно быть введено в смеситель. Таким образом, переменными обратной связи рН являются: расход концентрированного раствора кислоты / щелочи из кислотного-основного резервуара; значения рН питательного раствора, представляющего собой отрицательный логарифм концентрации ионов водорода в растворе; изменение рН питательного раствора представляет собой изменение отрицательного логарифма концентрации ионов водорода в питательном растворе с течением времени.

Выходом является величина расхода через кислотно-основной клапан, т. е. представляет собой количество концентрированного раствора кислоты / щелочи, которое необходимо добавить в питательный раствор для нормализации его рН. Нечеткие входные переменные контроллера следующие: вариационный рН – представляет собой изменение текущего значения рН питательного раствора во времени; разница рН – разница между заданной величиной рН и фактическим значением рН питательного раствора; кислота / щелочь – количество раствора кислоты / щелочи, который необходимо добавить.

В этой системе используются три резервуара водорастворимых удобрений N, P и K, а также емкость для смешивания удобрений (рис. 1). Концентрации C_i [кг/л] трех растворов удобрений и количества каждого компонента m_i [кг] приведены в качестве входных данных для системы управления. Рассматривая скорость потоков растворов V [л/с], система рассчитывает время T_i [с], в течение которого он должен подавать i -й раствор каждого из трех резервуаров в емкость для смешивания:

$$T_i = m_i \frac{1}{c_i V}.$$

Входным сигналом, который будет передан системе, является временной интервал между двумя процессами смешивания. Этот интервал может исчисляться в днях или часах. Учитывая это время, система будет ждать, прежде чем запускать другой процесс смешивания. Во время ожидания, система будет контролировать и поддерживать уровень влажности в почве.

Содержание влаги в почве будет контролироваться и управляться с установленной дискретностью. После того как смешивание закончено, система обеспечивает подачу этого раствора в трубопровод для поливной воды (см. рис. 1). Подача раствора выполняется насосом, который через форсунку впрыскивает раствор в трубопровод. Концентрация минерализованной воды определяется путем измерения ее электропроводности. Например, для уменьшения электропроводности необходимо увеличить скорость подачи минерализованной воды. Таблица соответствия скоростей определена экспериментальным путем.

Время наполнения смесительного бака $T_{\text{нап}}$ растворами удобрений

$$T_{\text{нап}} = \max(T_1, T_2, T_3),$$

где T_1, T_2, T_3 – соответствующие значения времени подачи из резервуара азотного, фосфорного и калийного удобрений.

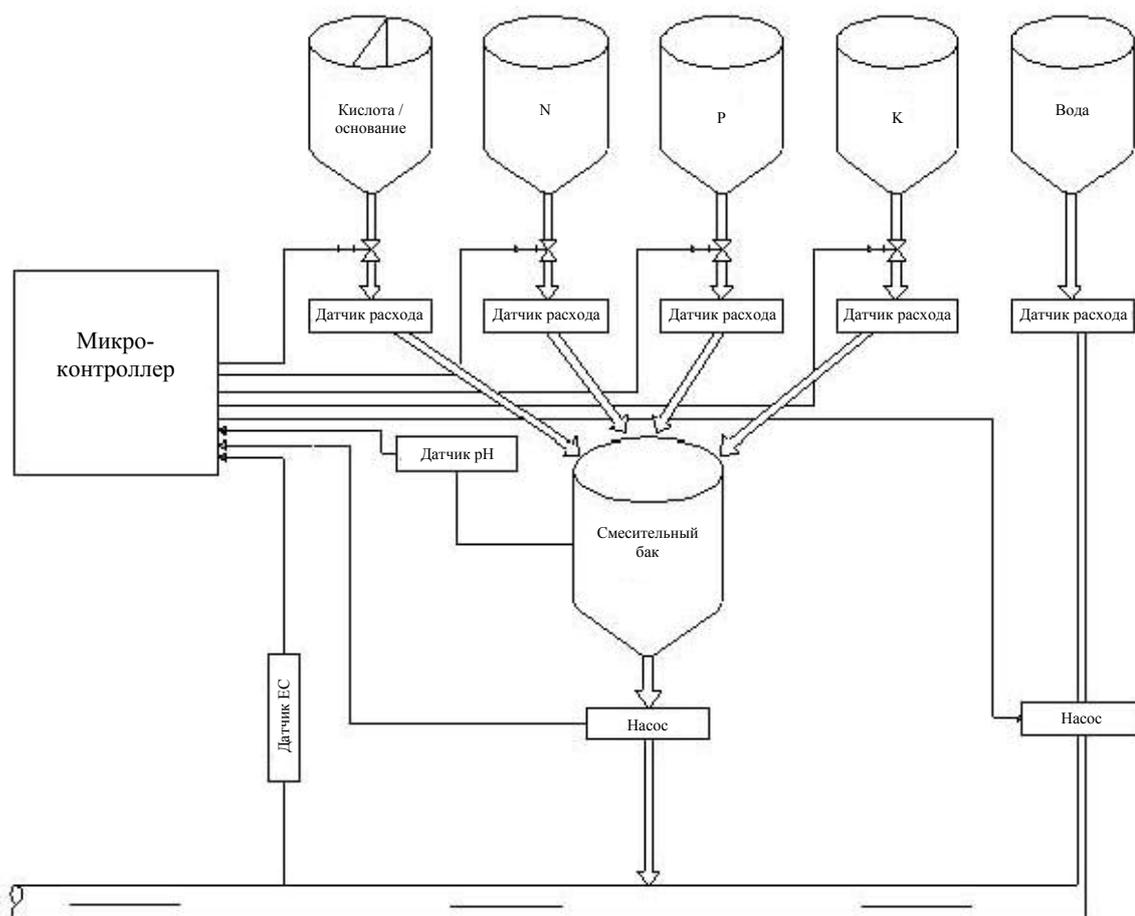


Рис. 1. Технологическая схема автоматизации добавки минеральных удобрений в поливную воду

Время, затраченное на измерение рН полученной смеси $T_{\text{рН}}$

$$T_{\text{рН}} = T_{\text{инд}} + T_{\text{опр}},$$

где $T_{\text{инд}}$ – время работы индикатора по определению величины рН раствора, $T_{\text{опр}}$ – время опроса датчика и передачи сигнала в модуль.

Время одного цикла $T_{\text{ц}}$ подготовки раствора минерализации массой m

$$m = \sum_{i=1}^3 m_i + m_{\text{к/о}},$$

где m_i – масса i -го раствора минеральных удобрений в резервуаре, $m_{\text{к/о}}$ – масса подаваемого раствора кислота / основание. $T_{\text{ц}}$ определяется из выражения

$$T_{\text{ц}} = T_{\text{нап}} + T_{\text{рН}} + T_{\text{к/о}},$$

где $T_{\text{к/о}}$ – время подачи раствора кислота / основание в смеситель.

На рис. 1 показана технологическая схема подготовки и подачи удобрений совместно с капельным орошением с учетом показателей рН и ЕС раствора.

Разработанный нечеткий контроллер может обеспечить необходимый уровень рН раствора с учетом нелинейности поведения значений рН раствора питательных веществ. Например, переменная разности рН находится в диапазоне от -1 до 1 (данные взяты в относительных

единицах как отношение pH/pH_{max}). Благодаря известным из литературы данным, составлены следующие лингвистические значения этой переменной: «отрицательный», если значение pH находится в пределах от -1 до $-0,4$; «нейтральный», если pH находится в пределах от $-0,2$ до $0,4$; «положительный», если pH находится в пределах $0,5$ до 1 . В системе нечеткой логики созданы входящие переменные, имеющие лингвистические значения (рис. 2).

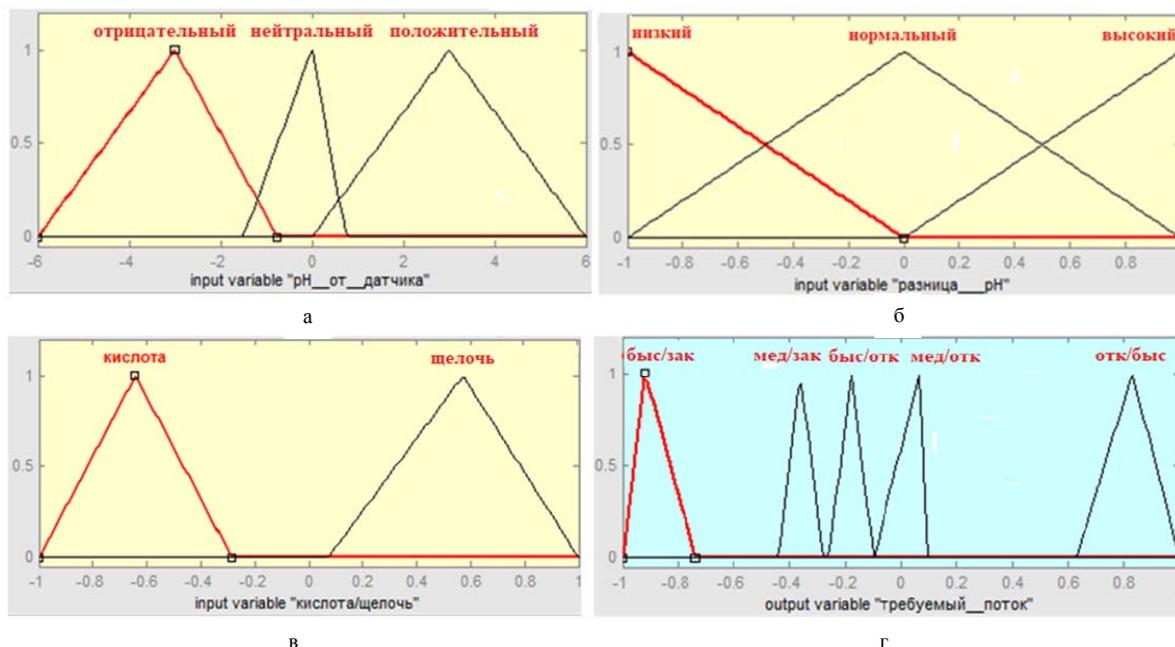


Рис. 2. Функция принадлежности:
 а – для лингвистической переменной pH ; б – для разницы измеренного и заданного значений pH ;
 в – для переменной подачи раствора кислота / щелочь в смеситель;
 г – для выходной переменной – требуемый состав смеси

Все значения переменных и набор нечетких правил для разработки системы управления были получены на основании опроса экспертов. Чтобы точно настроить эти правила, а также функции принадлежности, мы использовали стратегию проб и ошибок, которая подразумевает настройку исполнительных органов пока набор правил не достиг удовлетворительного значения в исследуемой модели. Каждому лингвистическому входному значению в соответствии со значением функции принадлежности соответствует некоторое действие в системе. Система состоит из девяти правил, которые можно увидеть в окне редактора правил (рис. 3).

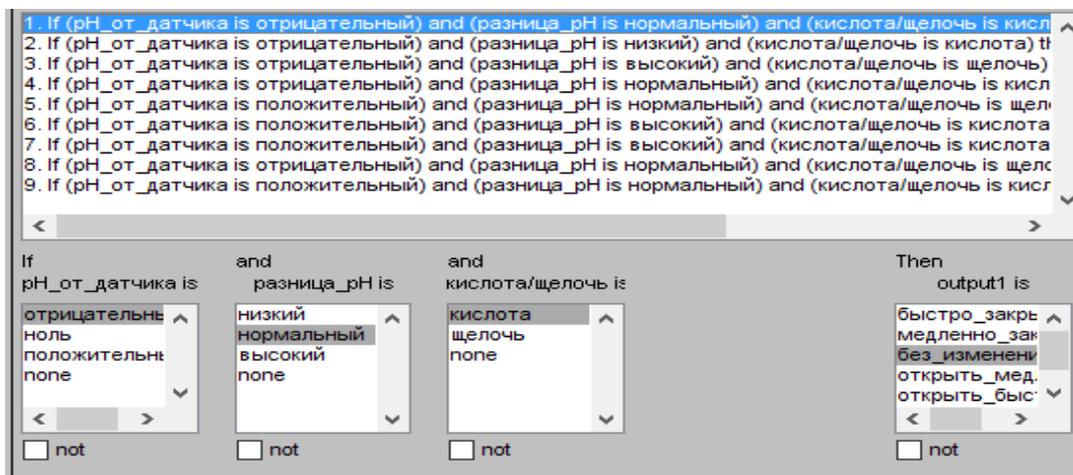


Рис. 3. Окно редактора базы знаний

Результат работы нечеткого контроллера для управления значением pH показан на рис. 4.

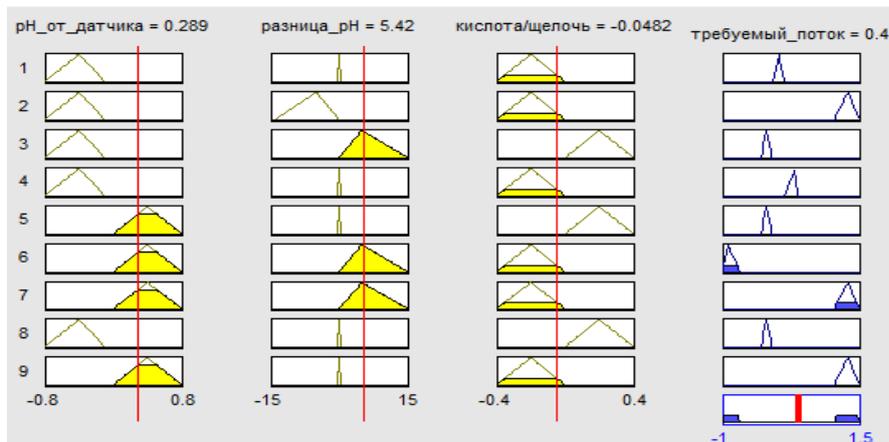


Рис. 4. Визуализация нечеткого логического вывода для управления pH

В подмодуле ЕС значения проводимости используются для получения информации о количестве вводимого удобрения в поток воды для полива. Высокий показатель ЕС раствора означает, что в составе поливной воды присутствует большое количество удобрений.

Нечеткие входные переменные контроллера: вариационный ЕС – представляет собой изменение текущего значения ЕС питательного раствора, ошибка ЕС – разница между заданной величиной ЕС и фактическим значением ЕС питательного раствора; фазы развития хлопчатника – три характерные фазы хлопчатника, где показатели ЕС имеют разные значения. Выход представляет собой поток воды от насоса. Это количество воды, требуемое для достижения необходимой концентрации поливного раствора. Основные правила, разработанные для нечеткого контроллера, приведены на рис. 5, 6.

```

1. If (Ес_датчика is низкий) then (скорость_подачи_воды is быстро) (1)
2. If (Ес_датчика is нормальный) then (скорость_подачи_воды is без_изменений) (1)
3. If (Ес_датчика is низкий) and (Ес_норма is вторая_фаза) then (скорость_подачи_воды is медленно) (1)
4. If (Ес_датчика is низкий) and (Ес_норма is первая_фаза) then (скорость_подачи_воды is без_изменений) (1)
5. If (Ес_датчика is нормальный) and (Ес_норма is первая_фаза) then (скорость_подачи_воды is без_изменений) (1)
6. If (Ес_датчика is высокий) and (Ес_норма is вторая_фаза) then (скорость_подачи_воды is медленно) (1)
7. If (Ес_датчика is высокий) and (Ес_норма is третья_фаза) then (скорость_подачи_воды is медленно) (1)
8. If (Ес_датчика is низкий) and (Ес_норма is третья_фаза) then (скорость_подачи_воды is быстро) (1)
9. If (Ес_датчика is низкий) and (Ес_норма is вторая_фаза) then (скорость_подачи_воды is медленно) (1)
10. If (Ес_датчика is высокий) and (Ес_норма is первая_фаза) then (скорость_подачи_воды is быстро) (1)
11. If (Ес_датчика is нормальный) and (Ес_норма is третья_фаза) then (скорость_подачи_воды is медленно) (1)

```

Рис. 5. Окно редактора базы знаний

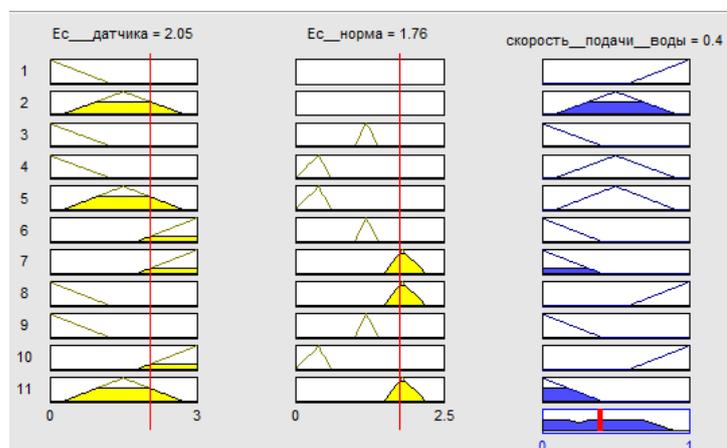


Рис. 6. Визуализация нечеткого логического вывода для управления ЕС

Техническая реализация решений

Блок управления состоит из соленоидных клапанов, управляемых электромагнитным реле, которое позволяет открывать / закрывать подачу удобрений в смесительный бак. Электромагнитный клапан должен быть включен / выключен в соответствии с нечеткой системой подмодулями с рН и ЕС. На рис. 7 приведена принципиальная электрическая схема модулей подготовки и подачи жидких удобрений для капельного орошения растений.

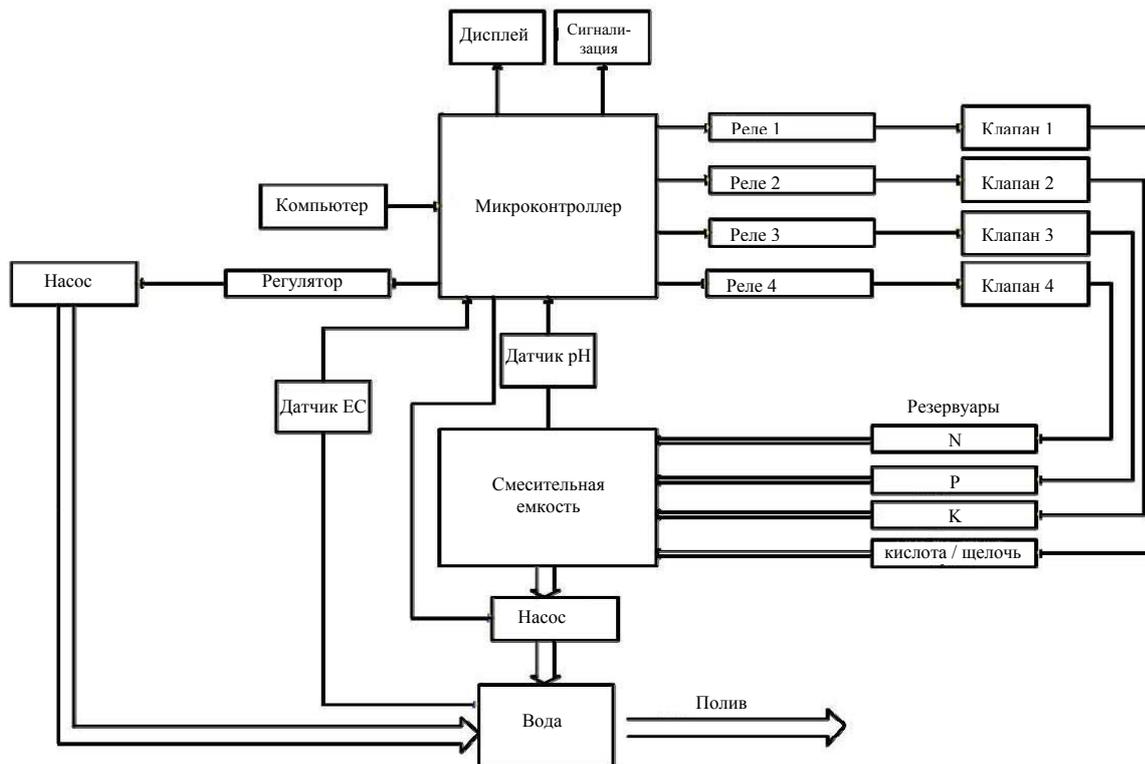
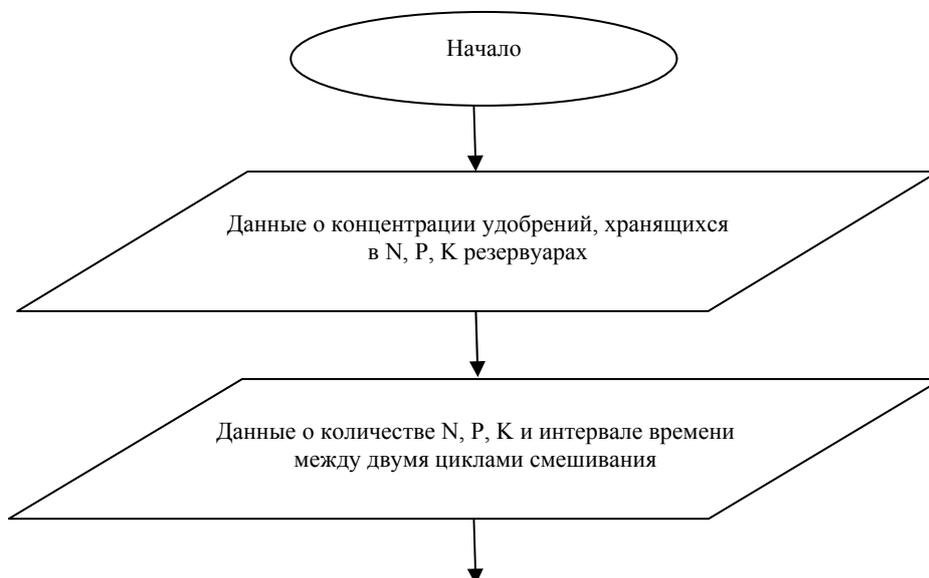
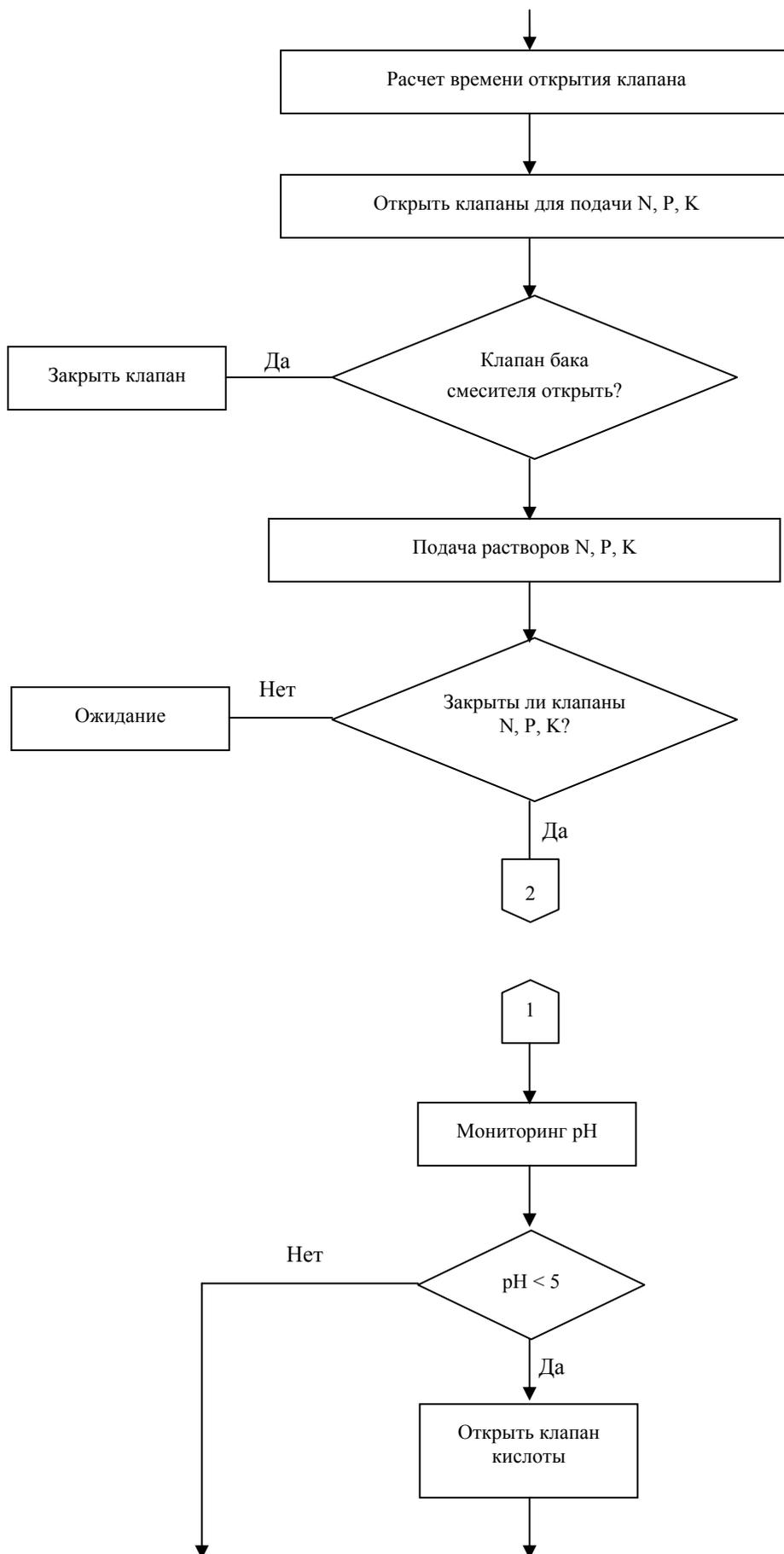
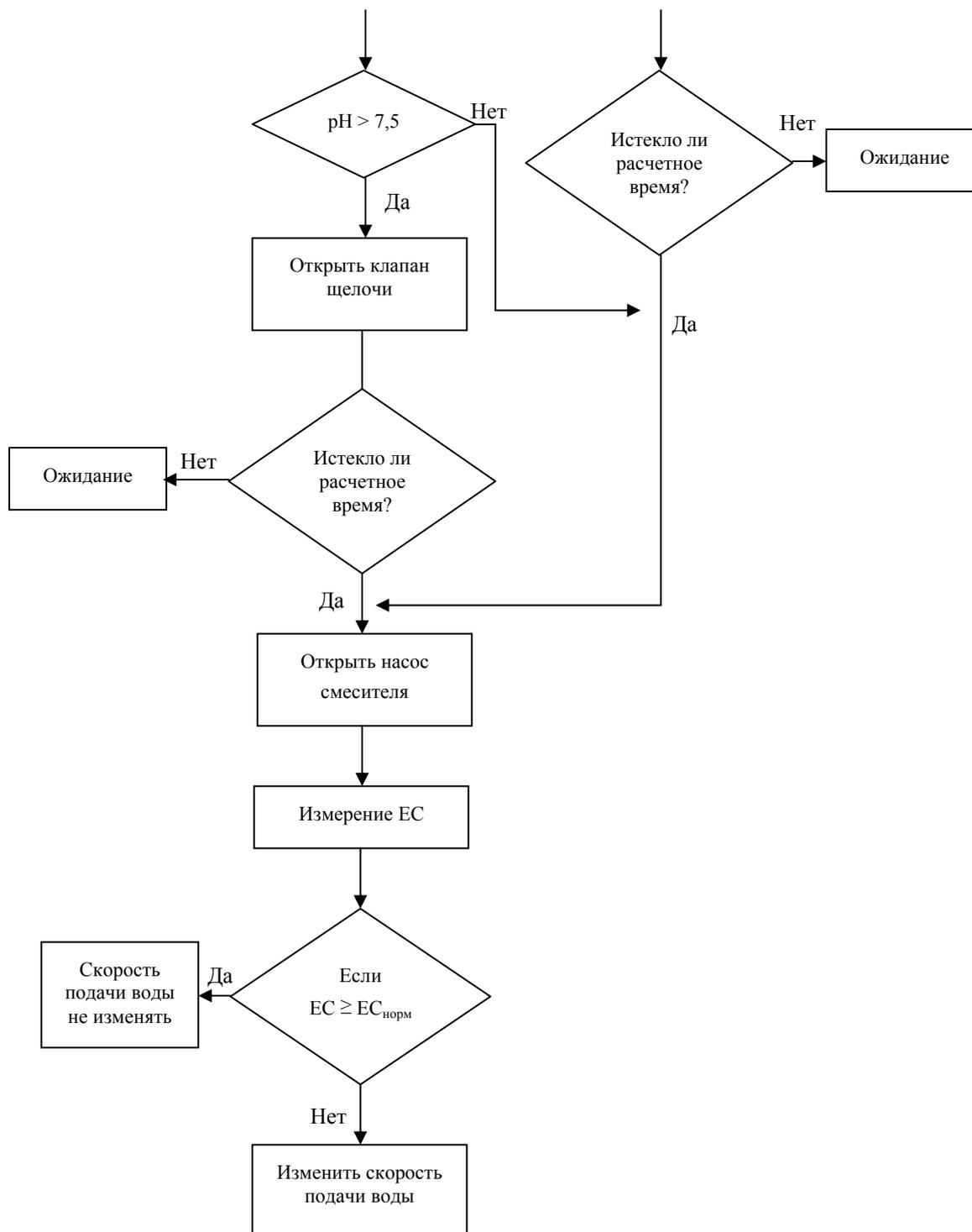


Рис. 7. Принципиальная схема модуля подготовки и подачи минеральных удобрений для капельного орошения

Далее мы приводим алгоритм управления системой фертигации:







Чтобы проверить работоспособность системы управления, функционирующей на основе нечеткой логики, был проведен ряд экспериментов на модели в программной среде Matlab/Simulink. На рис. 9, а показан результат моделирования уровня pH в системе. На графике видно, что система обрабатывает изменения уровня pH (плавные линии) с достаточной точностью (< 5 %). Уровень pH для большинства сельскохозяйственных культур колеблется от 5 до 8.

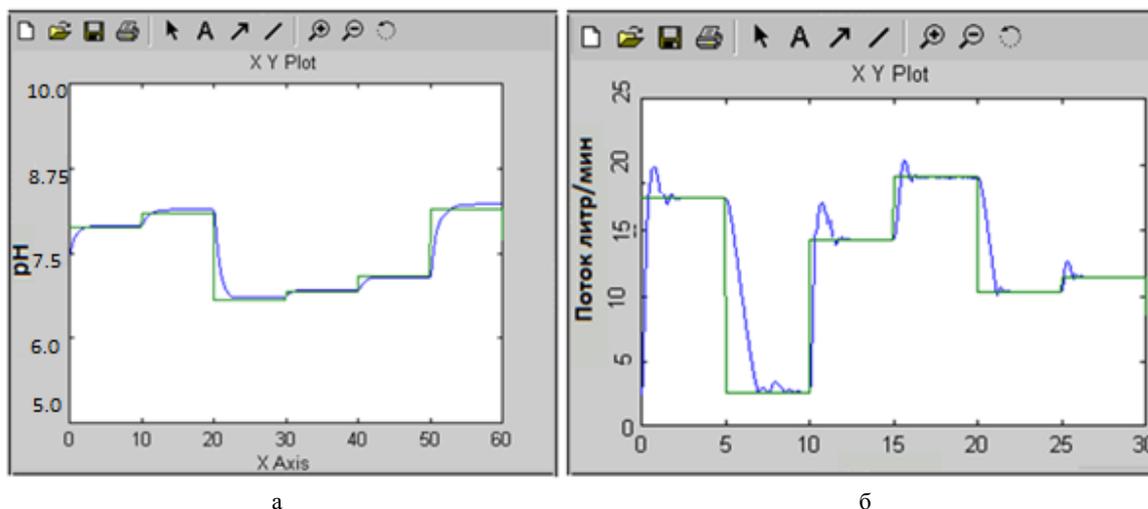


Рис. 9. Результаты моделирования нечетких контроллеров:
 а – регулирование уровня pH; б – регулирование уровня ЕС.
 Для регулирования уровня pH принят раствор кислоты с концентрацией 22 %

Для моделирования работы контроллера ЕС мы выбрали скорость подачи поливной воды от 4 до 25 л/мин, что соответствует диапазону концентрации питательного раствора от 10 до 62 % по сравнению со стандартным (принятым в литературе) раствором. На рис. 9, б показан результат моделирования подачи раствора для регулирования уровня ЕС раствора.

Выводы

По результатам моделирования работы системы нечеткого регулирования уровня pH и величины ЕС можно сделать следующие выводы:

- каждый подмодуль может работать автономно, что упрощает разработку и позволяет в дальнейшем добавлять модули по мере необходимости для улучшения и корректировки работы подмодуля;
- стабильность работы системы была продемонстрирована на примерах для производства сельскохозяйственных культур (хлопчатника);
- нечеткое управление легко адаптируется, просто и легко реализуется;
- структура нечеткого контроллера является эффективным вариантом управления подачей минерализованной воды в корневую систему растения в силу применения научно обоснованных методов управления ростом и развитием растения, которые заложены в базе знаний интеллектуальной системы.

Список литературы

1. Bar-Yosef B. Fertilization under drip irrigation // Fluid Fertilizer, Science and Technology / Ed. by D. A. Palgrave. New York: Marcel Dekker, 1992. P. 285–329.
2. Садридинов С. Инновационные подходы и факторы повышения продуктивности сельскохозяйственных культур в условиях Таджикистана. Душанбе, 2005.
3. Kafkafi U. Global aspects of fertigation usage // Proc. of International Symposium on Fertigation. Beijing, China, 2005. P. 8–22.
4. Goumopoulos Ch. An Autonomous Wireless Sensor / Actuator Network for Precision Irrigation in Greenhouses, Smart Sensing Technology for Agric. & Environ. Monitor. Berlin; Heidelberg: Springer Verlag, 2012. P. 1–20.

R. M. Bandishoeva

*M. S. Osimi Tajik Technical University
10 Academicians Rajabovs Ave., Dushanbe, 734042, Tajikistan*

risolatbm@mail.ru

DEVELOPMENT OF THE AUTOMATED MODULE FOR MINERALIZATION OF WATER

The article is devoted to the development of the management system of fertigation. The system allows automatic feeding of fertilizers taking into account the pH and EC values obtained from the respective sensors. To solve this problem, a mineralization module consisting of two submodules has been developed: a submodule for measuring and controlling pH and a submodule for measuring and regulating EC. The data is transferred to the microcontroller for further system management actions. As a decision-making system, the work uses an intelligent system based on fuzzy logic.

Keywords: fertigation, fuzzy controller, mineralization, concentration, solution.

References

1. Bar-Yosef B. Fertilization under drip irrigation. In: *Fluid Fertilizer, Science and Technology*. Ed. by D. A. Palgrave. New York, Marcel Dekker, 1992, p. 285–329.
2. Sadridinov S. Innovative approaches and factors of increase of productivity of agricultural crops in the conditions of Tajikistan. Dushanbe, 2005.
3. Kafkafi U. Global aspects of fertigation usage. *Proc. of International Symposium on Fertigation*. Beijing, China, 2005, p. 8–22.
4. Goumopoulos Ch. An Autonomous Wireless Sensor / Actuator Network for Precision Irrigation in Greenhouses, Smart Sensing Technology for Agric. & Environ. Monitor. Berlin, Heidelberg, Springer Verlag, 2012, p. 1–20.

For citation:

Bandishoeva R. M. Development of the Automated Module for Mineralization of Water. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*, 2018, vol. 16, no. 3, p. 64–73. (in Russ.)

DOI 10.25205/1818-7900-2018-16-3-64-73