

стическое деформирование, также многократно меньше номинальных усилий индентирования. При этом средние давления на пятне контакта находятся в диапазоне 1,07–2,5 предела текучести индентируемого материала.

**Заключение.** Результаты выполненных исследований позволили произвести расчетную оценку параметров стесненного упруго-пластического деформирования материала при индентировании и наноиндентировании. Показано, что размеры пятен контакта, соответствующие зарождению области стесненного упруго-пластического деформирования и выходу этой области на поверхность индентируемого материала, существенно малы в сравнении с радиусом индентора. Определены соответствующие значения усилий и средних напряжений.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бульчев, С.И. Испытание непрерывным вдавливанием индентора / С.И. Бульчев, В.П. Алехин – М.: Машиностроение, 1990. – 224 с.
2. Федосов, С.А. Определение механических свойств материалов микроиндентированием. Современные зарубежные методики / С.А. Федосов, Л. Пешек. – М.: Физический факультет МГУ, 2004. – 100 с.
3. Bukaille, J.L. Determination of plastic properties of metals by instrumented indentation using different sharp indenters / J.L. Bukaille, S. Stauss, E. Felder, J. Michler // Acta Mater. – 2003. – V. 51. – № 6. – P. 1663–1678.
4. Коновалов, Д.А. Определение кривых деформационного упрочнения металлов по результатам вдавливания конических инденторов / Д.А. Коновалов, С.В. Смирнов, А.В. Коновалов // Дефектоскопия. – 2008. – № 12. – С. 55–63.
5. Cholacoop, N. Depth- sensing instrumented indentation with dual sharp indenters / N. Cholacoop, M. Dao, S. Suresh // Acta Mater. – 2003. – V. 51. – № 13. – P. 3713–3729.
6. Бульчев, С.И. Соотношение между восстановленной и невосстановленной твердостью при испытании наноиндентированием // ЖТФ. – 1999 – Т. 69. – Вып. 7. – С. 42–48.
7. Oliver, W.C. An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load- displacement sensing indentation experiment / W.C. Oliver, G.M. Pharr // Mater. Res. – 1992. – V. 7. – № 6. – P. 1564–1583.
8. Васаускас, С.С. Диаграмма твердости и ее применение для определения характеристики прочности металлов / С.С. Васаускас, В.Ю. Жиднос // Заводская лаборатория. – 1962 – № 5. – С. 605–608.
9. Dao, M. Computational modeling of the forward and reverse problems in instrumented sharp indenters / M. Dao, N. Cholacoop, K.J. Van Vliet, T.A. Venkatesh, S. Suresh // Acta Mater. – 2001. – V. 49. – № 19. – P. 3899–3918.
10. Бакиров, М.Б. Математическое моделирование процесса вдавливания сферы в упруго-пластическое полупространство / М.Б. Бакиров, М.А. Зайцев, И.В. Фролов // Заводская лаборатория – 2001. – Т. 67. – № 1. – С. 37–47.
11. Pelletier, H. Limits of using bilinear stress- strain curve for finite element modeling of nanoindentation response on bulk materials / H. Pelletier, J. Krier, A. Cornet, P. Mille // Thin Solid Films – 2000. – V. 379. – № 1–2. – P. 147–155.
12. Смирнов, С.В. Влияние радиуса скругления вершины индентора на напряженно- деформированное состояние при внедрении индентора в упруго-пластический материал / С.В. Смирнов, Е.О. Экземплярова // Физическая мезомеханика. – 2009. – Т. 12. – № 6. – С. 73–78.
13. Барсуков, В.Г. Трибомеханика дисперсных материалов. Технологические приложения / В.Г. Барсуков, Б. Крупич. – Гродно: ГрГУ, 2004 – 240 с.
14. Мышкин, Н.К. Механика фрикционного контакта / Н.К. Мышкин, М.И. Петроковец – Гомель: ИММС НАНБ, 2000. – С. 58.
15. Кенько, В.М. Неметаллические материалы и методы их обработки / В.М. Кенько. – Мн.: Дизайн ПРО, 1998. – 240 с.
16. Богданович, П.Н. Трение и износ в машинах / П.Н. Богданович, В.Я. Прушак – Мн.: Выш. шк., 1999. – 374 с.
17. Мильман, Ю.В. Определение твердости по Мартелю при инструментальном индентировании – энергетическая концепция твердости материалов / Ю.В. Мильман, Л.В. Мордель // Актуальные проблемы прочности. Материалы 53 Международной научной конференции. 2–5 октября 2012 г. – Витебск, Беларусь. – Часть I. – С. 19–21.
18. Tabor, D. The hardness of metals. – Clarendon Press: Oxford, 1951. – 130 p.
19. Новожилов, В.В. Вопросы механики сплошной среды. – СПб.: Издательство С.-Петербург. ун-та, 2010. – 362 с.
20. Александров, А.В. Основы теории упругости и пластичности: учебник для строит. спец. вузов – М.: Высш. шк., 1990 – 400 с.

Материал поступил в редакцию 18.01.15

#### **BARSUKOV V.G., KHVISEVICH V.M., CHIKOVA T.S., BARSUKOV V.V. The calculation estimate of constrain elastic- plastic deformation parameters of materials for indentation**

The peculiarities of material indentation as following realize three stage process are looked. The initial stage is correspond to elastic deformation, the intermediate stage-to constrain elastic- plastic deformation, and the principal final stage- to free plastic deformation. The results of fulfilled investigation permit to realize the calculation estimate of constrain elastic- plastic deformation parameters of material for indentation. It's shown that sizes of contact spot correspond to engender of constrain elastic- plastic deformation region and exit of this region on indentation materials' surface are considerable smaller in comparison with indenters radius. According values of forces and stresses are determinate

УДК 628.16.087+631.171:636.5

**Штепа В.Н., Прокопеня О.Н., Кот Р.Е., Пуха В.М.**

### **МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА ДОЗИРОВАНИЯ РЕАГЕНТОВ НА ОСНОВЕ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ**

**Введение.** В силу распространенности процессов дозирования в различных отраслях промышленности существует потребность в производстве дозирующего оборудования внутри страны, поскольку

ку большая часть его в настоящее время импортируется. Для организации производства указанного оборудования отечественным машиностроительным комплексом необходимо обеспечить разработку

**Штепа Владимир Николаевич**, к.т.н., руководитель НИЛ «Экоинженерия и информационных технологий», доцент кафедры высшей математики и информационных технологий Полесского государственного университета.

**Кот Роман Евгеньевич**, научный сотрудник НИЛ «Экоинженерия и информационных технологий», доцент кафедры высшей математики и информационных технологий Полесского государственного университета.

**Пуха Владимир Михайлович**, научный сотрудник НИЛ «Экоинженерия и информационных технологий», доцент кафедры высшей математики и информационных технологий Полесского государственного университета.

Беларусь, 225710, г. Пинск, ул. Днепровской Флотилии, 23.

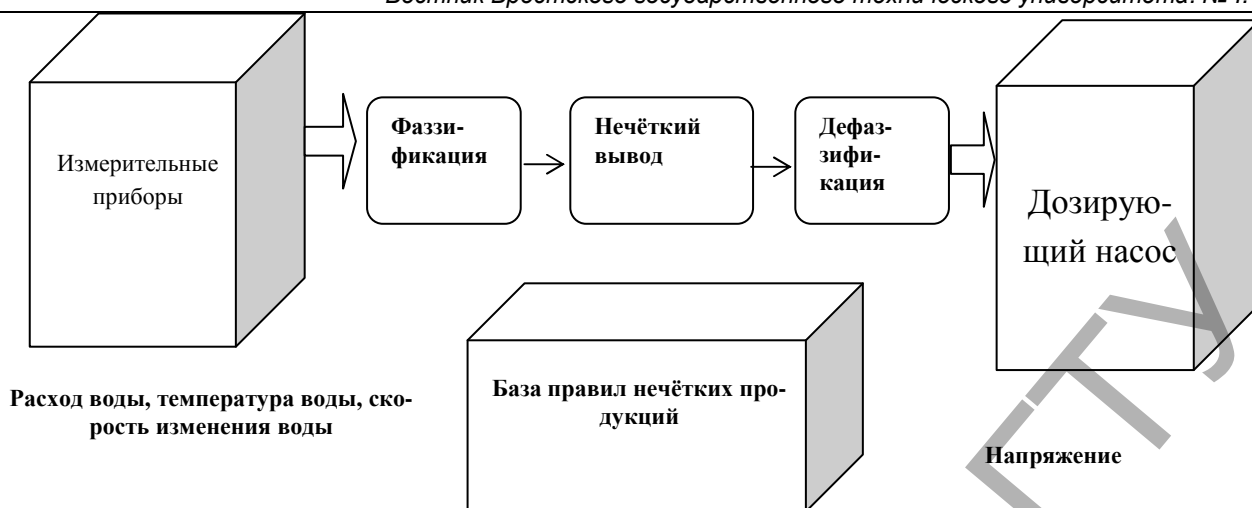


Рис. 1. Архитектура системы нечеткого регулирования дозатором реагентов

эффективных технических решений для различных областей применения с учетом их особенностей. Одной из таких областей является агропромышленный комплекс, в котором распространены процессы дозирования жидких компонентов. В частности, актуальной является задача обеззараживания сточных вод, которая решается путем дозирования хлорсодержащих реагентов.

Среди промышленных объектов, в отношении количества сброса опасных для окружающей среды сточных вод, отдельно выделяются птицеводческие комплексы, поскольку в них, как правило, содержатся высокие концентрации вирусов, микробов и бактерий. Как средство доведения до регламентированных предельно допустимых концентраций параметра Coli-index, комплексного для установления вирусно-микробно-бактериальной безопасности воды, используется гипохлорирование [1].

Сложность управления процессом гипохлорирования состоит в том, что изменение входных параметров (расход, температура, давление) носит случайный характер. При этом возможны их скачкообразные изменения при залповых сбросах загрязнителей в условиях чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера. При этом гипохлоратор является нелинейным объектом, а построение системы с обратной связью непосредственно по регулируемому параметру (содержанию хлора в воде) невозможно из-за отсутствия технических средств для измерения концентрации хлора в реальном времени. Для этого применимы только лабораторные методы [2].

Анализ существующих систем управления дозированием реагентов, построенных с использованием традиционного подхода к проектированию, показал их недостаточную эффективность. Более эффективными оказываются системы, использующие математический аппарат нечеткой логики [3–5].

**Постановка задачи.** Конечной целью исследования является повышение эффективности хлорпоглощения на пункте гипохлорирования сточных вод и поддержание концентрации хлора на заданном уровне с требуемой точностью в условиях, когда объем и температура сточных вод изменяются в значительных пределах и это изменение носит случайный характер. Указанная цель достигается за счет использования регулятора подачи реагента, построенного на основе математического аппарата нечеткой логики. Соответствующая настройка регулятора должна обеспечивать низкую чувствительность системы к изменению указанных факторов.

**Материалы и методика исследований.** Исследование и настройка регулятора выполнялись с помощью математической модели, построенной в среде программирования MatLab с использованием пакета расширения Fuzzy Logic Toolbox. Входными переменными регулятора являются: расход воды, температура воды и скорость изменения температуры. Выходная переменная – сигнал

управления дозирующим насосом, который определяет его подачу.

Алгоритм работы автоматической системы регулирования (АСР) на основе нечеткой логики включает в себя несколько этапов (рис. 1).

Значение для терм-множеств нами взяты из исследований академика Л.А. Кульского, требований СНиП 2.04.02-84 и данных ЗАО "Комплекс Агромарс" (торговая марка "Гавриловские цыпленки").

В качестве терм-множества первой лингвистической переменной используем множество T1 = {"очень большие расходы воды", "большие расходы воды", "расходы воды в пределах нормы", "малые расходы воды", "очень малые расходы воды"}.

В качестве терм-множества второй лингвистической переменной используем множество T2 = {"температура воды ниже нормы", "температура воды в норме", "температура воды выше нормы"}.

Терм-множеством третьей лингвистической переменной возьмем множество T3 = {"скорость изменения температуры воды положительная", "температура воды не меняется", "скорость изменения температуры воды отрицательная"}.

В качестве терм-множества выходной лингвистической переменной используем множество T4 = {"очень сильно увеличить дозу хлора", "существенно увеличить дозу хлора", "незначительно увеличить дозу хлора", "не менять дозу хлора", "незначительно уменьшить дозу хлора", "существенно уменьшить дозу хлора", "очень сильно уменьшить дозу хлора"}.

Все этапы работы системы нечеткого регулирования должны выполняться согласно алгоритму Мамдани, реализованному в пакете расширения Fuzzy Logic Toolbox MatLab (рис. 2).

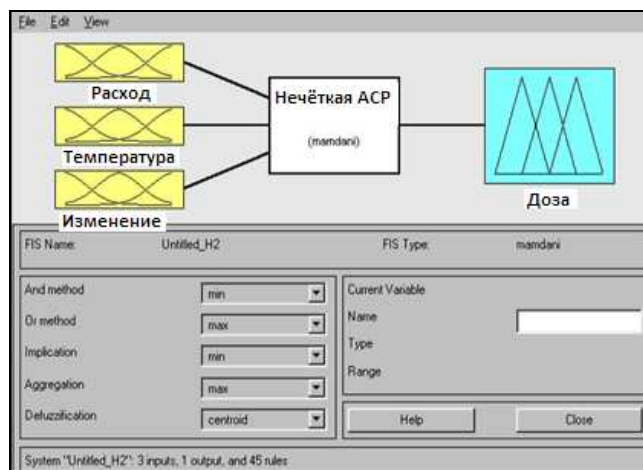


Рис. 2. Нечеткая модель (пакет расширения Fuzzy Logic Toolbox "MatLAB")

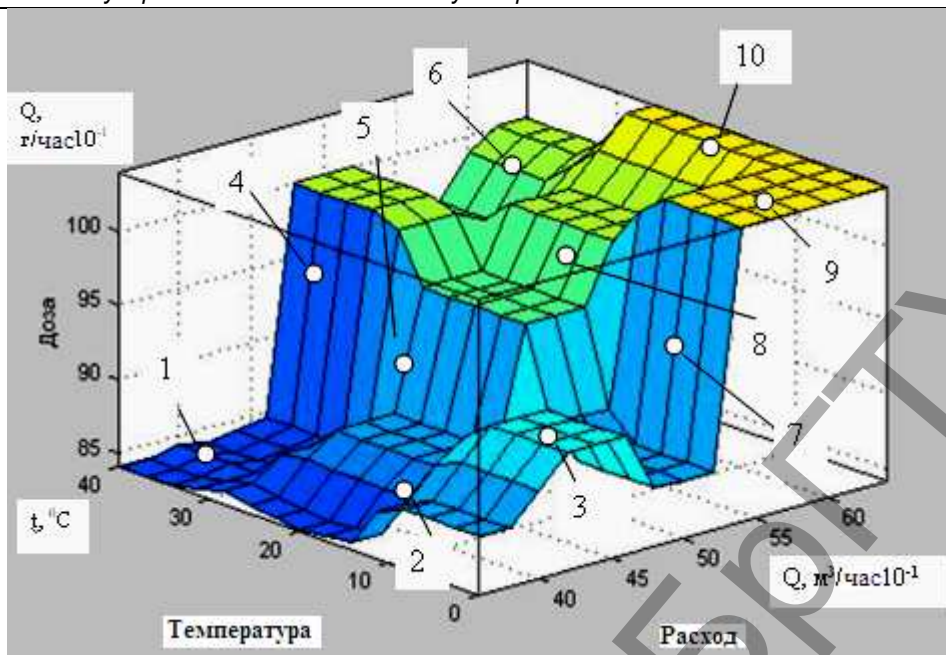


Рис. 3. Зависимость дозы активного хлора от расходов и температуры воды (нанесено 10 экспериментальных характерных точек)

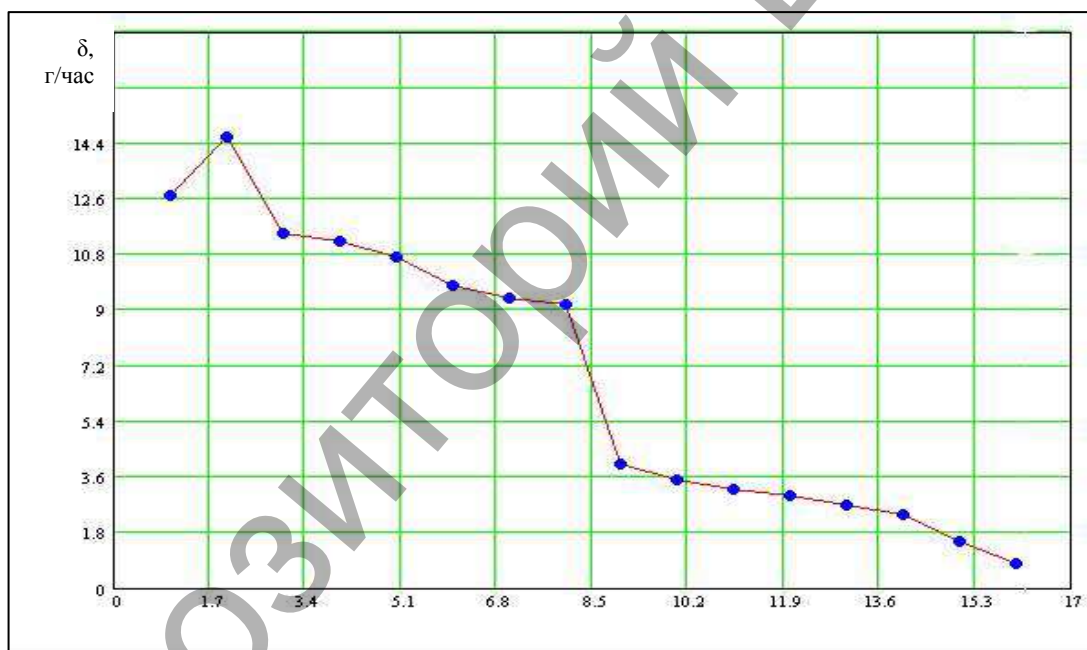


Рис. 4. Этапы итерационной настройки нечеткого регулятора дозирования реагентов

Настройка и проверка созданной модели на адекватность, при которой экспертную оценку давал специалист измерительной лаборатории качества поверхностных, подземных и сточных вод и объектов сельскохозяйственного производства НУБиП, велась с использованием исследований академика Л. А. Кульского. Использовано 100 характерных точек. При сравнении работы нечеткого регулятора с экспериментальными исследованиями были получены расхождения по каждой из точек и рассчитано среднеквадратическое отклонение:

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum (Dz_{эксперт} - Dz_{теор})^2}{100}} = 1,27, \text{ в/ч}, \quad (1)$$

где  $Dz_{эксперт}$  – экспериментально полученная доза хлора;  
 $Dz_{теор}$  – теоретически полученная доза хлора (нечеткая модель).

Проведя анализ среднеквадратического отклонения и поверхности отклика (рис. 3), пришли к выводу, что модель – адекватная, однако требует определенной подстройки параметров. Технологиче-

ская задача подстройки – выйти на значение среднеквадратического отклонения менее 1 г/ч.

В процессе исследования было выявлено, что скорость нагрева воды существенно не влияет на исходную переменную. Поэтому нами корректировались, путем экспертного изменения в FIS-редакторе, терм-множества и функции принадлежности двух других входных переменных (расход и температура воды).

На рисунке 4 приведены этапы настройки нечеткого регулятора до значения среднеквадратического отклонения меньше технологических требований, остановлено на 0,08 г/ч (шестнадцатый учебный этап).

После оценки адекватности синтезированный регулятор был реализован аппаратно на основе микропроцессорного модуля COTA 818, разработанного авторами [4]. Разработанная система регулирования осуществляет:

- измерение технологических параметров;
- управление преобразователем частоты;
- управление заслонками.

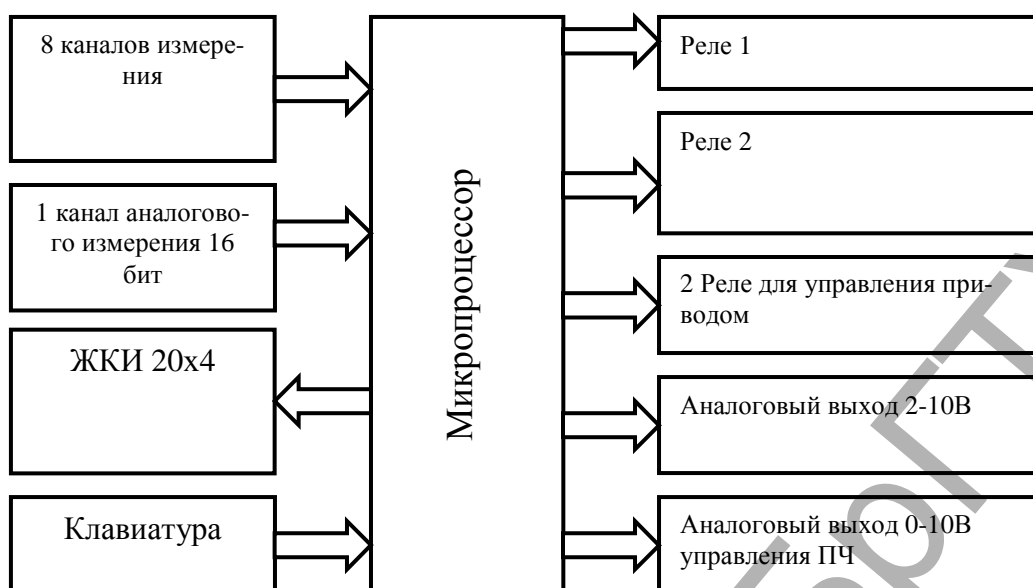


Рис. 5. Структурная схема системы регулирования COTA 818

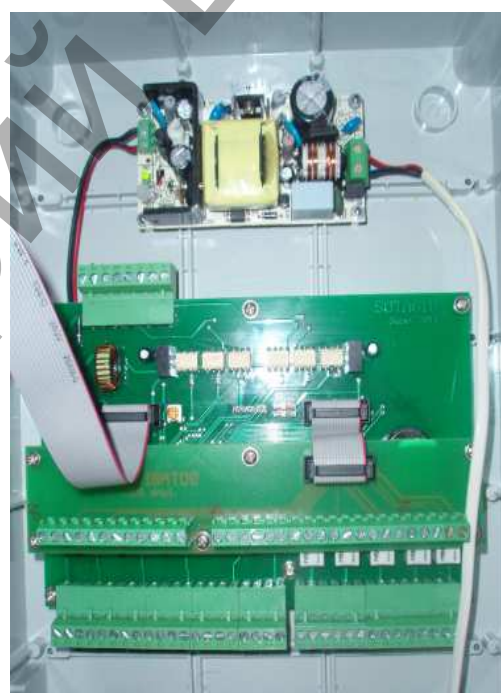
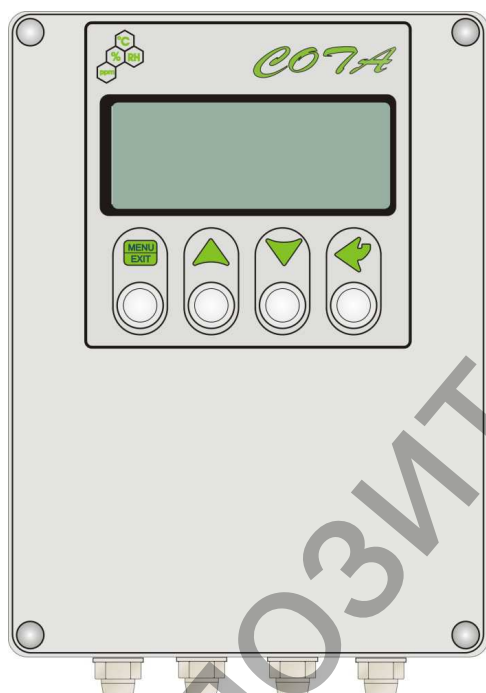


Рис. 6. Внешний вид микропроцессорного блока системы регулирования дозированием реагентов на основе нечёткой логики

Система регулирования COTA 818 конфигурируется через переднюю панель прибора или через интерфейс RS-485 (протокол ModBus), что также позволяет использовать прибор в качестве удаленного контроллера при работе в сетях управления и сбора информации. Параметры конфигурации системы сохраняются в энергонезависимой памяти и прибор способен возобновить выполнение задач измерения после прерывания напряжения питания.

Микропроцессорный блок системы работает под управлением современного микроконтроллера RISC архитектуры из семейства Atmega (рис. 5, 6). Внутренняя программа микропроцессора функционирует с постоянным временным циклом. В начале каждого цикла считываются значения входов. После этого производятся необходимые вычисления, подготовка данных для вывода на экран и выдача управляющих воздействий на исполнительные механизмы.

Интерфейс RS-485 обеспечивает использование микропроцессорного блока в качестве удаленного контроллера при работе в си-

стемах управления и сбора информации (приема-передачи команд и данных), SCADA системах и т.п. Адрес контроллера (slave-устройства) в сети (1-255) позволяет идентифицировать его при взаимодействии со SCADA-системой (master-устройством). Протоколом связи по интерфейсу RS-485 является протокол ModBus. Для работы необходимо настроить коммуникационные характеристики системы регулирования COTA 818 таким образом, чтобы они совпадали с настройками обмена данными главного компьютера.

Программно регулятор на основе нечёткой логики реализован на языке Assembler для семейства контроллеров Atmega. Разработанная и реализованная аппаратно система управления дозированием реагентов прошла промышленную проверку на предприятии "Владимир-Волынская птицефабрика" в системе очистки сточных вод, где была подтверждена её технологическая эффективность [4].

Экспериментально установлено, что разработанный аппаратно-программный комплекс существенно более эффективно реагирует на

ступенчатые изменения значений входных параметров (в зависимости от комбинации их значений на 10-35% повышает точность дозирования).

**Заключение.** Анализ регулятора подачи реагента, построенного на основе математического аппарата нечеткой логики, с помощью математической модели в среде программирования MatLab показал его эффективность при скачкообразных изменениях входных параметров после соответствующей настройки. Повышение точности дозирования по сравнению с известными аналогами было также подтверждено экспериментально на промышленном образце устройства, созданного на основе микропроцессорного блока СОТА 818.

Таким образом, разработанные программные и аппаратные средства, использующие математический аппарат нечеткой логики (на основе алгоритма Мамдани), позволяют улучшить характеристики работы систем дозирования реагентов и, тем самым, повысить качество водочистки, в том числе в условиях нештатных ситуаций со скачкообразными изменениями значений входных параметров. Данные системы можно рекомендовать для промышленного применения.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лисенко, В.П. Передумови створення автоматичної системи керування електролізними процесами очистки стічних вод промислових підприємств комплексів з використанням нейроінфор-

- маційних технологій / В.П. Лисенко, В.М. Штепа // Аграрна наука і освіта. – К.: НАУ. – 2006. – Т. 7. – № 1–2. – С. 99–104.
2. Донченко, М.И. Очистка растворов от дисперсных примесей методом электрокоагуляции. Осаждение глинистых примесей при переменных гидродинамических режимах, факторный эксперимент / М.И. Донченко, О.Г. Срибная, Ф.И. Гончаров, В.Н. Штепа // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 22. – С. 57–65.
3. Штепа, В.М. Аналітичне моделювання як об'єкта керування резервуара для змішування стічних вод птахофабрики та гіпохлоритних розчинів отриманих електролізом / В.М. Штепа // Науковий вісник Національного аграрного університету. – К.: НАУ. – 2007. – Вип. 115. – С. 109–112.
4. Штепа, В.М. Обґрунтування алгоритму експериментально-аналітичних досліджень режимів електротехнічної очистки стічних вод агропромислових об'єктів з метою побудови енергоефективних систем управління / В.М. Штепа // Енергетика і автоматика, 2012-01 (11), [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/ea\\_2014\\_2\\_10.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/ea_2014_2_10.pdf)
5. Асаи, К. Прикладные нечеткие системы / К. Асаи, Д. Ватада, С. Иваи; под ред. Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугено. – М.: Мир, 1993. – 368 с.

Материал поступил в редакцию 03.11.15

#### SHTEPA V.N. PROKOPYENYA O.N., KOT R.Y., PUKHA V.M. The microprocessor control system of the dosing reagents based on the fuzzy logic

The shortcomings of existing solutions in the field of control systems for dosing the reactants in the scheme of sewage treatment by the example of the introduction of hypochlorite in the discharges poultry farm. Substantiated architecture control system based on fuzzy logic; as input parameters for the selected flow rate, water temperature and direction of changes in water temperature, the control action – the voltage on the dosing pump. A synthesizing fuzzy system; at the initial stage the quality of the system did not meet the technological requirements, after expert training has been achieved the required quality. The hardware implementation of the system was made on the basis of SOTA microprocessor unit 818, program implementation in Assembler for the family of controllers Atmega. The control system has been tested on the industrial poultry farm.

УДК 631.527.4

Савчук С.В.

## ПРОЦЕСС ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОГИДРОПРИВОДА В СОСТАВЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ГЛУБИНЫ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

**Введение.** Необходимость обеспечения копирования рельефа почвы является одним из важнейших параметров, напрямую влияющих на качество технологического процесса сева.

Одним из вариантов, не предусматривающим наличие передних опорных колес (не во всех случаях), является конструирование навесной машины с короткой базой, которая нивелирует имеющиеся погрешности. Основным преимуществом навесных машин является то, что силы, действующие на навесную машину в вертикальной плоскости, передаются на трактор и увеличивают сцепной вес, улучшая его тяговые свойства [1]. На практике применение таких схемных решений ограничено из-за невозможности использования в машине нескольких функций, как правило, не более одной.

Современные мировые тенденции предусматривают реализацию в машине нескольких агротехнологических приемов, из-за чего конструкция машины усложняется и общие габариты увеличиваются. Применение в последние годы в сельском хозяйстве энергонасыщенных тракторов только развивает это направление. Проектируются и работают на полях сельскохозяйственные машины большой массой или грузоподъемностью (свыше 10 000–15 000 кг), шириной захвата от 6 до 18 метров, с габаритными размерами до 10–15 метров в длину. При использовании особенно таких машин необходимо предусматривать наличие устройства, отвечающего за сохранение оптимальной глубины посевов.

Изучение сельхозмашин различных зарубежных фирм «Kverneland Group», «Vaderstad», «Jeantil», «Kuhn», «Horsch» указывает, что данные производители пытаются решать данную проблему введением дополнительного переднего опорного колеса.

Данный способ позволяет в достаточной степени просто и эффективно производить копирование рельефа поля сельхозмашиной при неровном контуре поля. Однако данный способ снимает нагрузку с заднего навесного устройства и разгружает задний мост трактора, что отрицательно сказывается на выполняемом технологическом процессе. Кроме того, металлоемкое опорное колесо усложняет конструкцию и увеличивает стоимость агрегируемой машины, что влечет увеличение себестоимости машины, которое способствует уменьшению возможности реализации изделий на рынке из-за увеличения цены.

Способом развития данной ситуации является применение в системе трактора гидроувеличителя сцепного веса транспортного средства.

Принцип действия гидроувеличителя сцепного веса или гидравлического догрузителя состоит в том, что при работе гидравлической системы трактора в подъемной полости основного силового цилиндра создается давление подпора, которое стремится поднять навесную машину. Величина указанного давления недостаточная для подъема машины, поэтому копирование рельефа почвы опорными колесами не нарушается, однако с навесной машины как бы

Савчук Сергей Васильевич, заместитель главного инженера, главный конструктор ОАО «Брестский электромеханический завод».