



ВЕСТНИК Брестского государственного технического университета

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Научно-теоретический журнал

Издается с января 2000 г

Периодичность - 6 раз в год

4(94)'2015

СОДЕРЖАНИЕ

РАКИЦКИЙ А.А. Перспективные конструкции подвесок наземных мобильных машин	2
ОМЕСЬ Д.В., ДРАГАН А.В. Применение вейвлет-анализа при исследовании ударных взаимодействий в зубчатых передачах многошарнирных приводов.....	4
МЕДВЕДЕВ О.А. Оценка эффективности гибких автоматизированных участков мехобработки.....	8
АНТОНЮК В.Е., СКОРОХОДОВ А.С., АЛЕКСАНДРОВА В.С., РУСЕЦКИЙ В.Н. Взаимосвязь параметров измерительного межосевого расстояния с показателями шума цилиндрических зубчатых передач.....	12
ГУЩА А.А., ДУДАН А.В., ЖОРНИК В.И. Повышение ресурса узлов трения модифицированием смазочного материала наноразмерными алмазами	15
ДУДАН А.В., ВОРОНА Т.В., АГЕЕВ М.С., ЛЯШЕНКО Б.А. Применение гибридных технологий для реновации и повышения ресурса деталей судовых машин и механизмов.....	18
НЕРОДА М.В., НАРАНОВИЧ О.И., ШАХ А.В. Компьютерное моделирование гидравлического удара в элементах трубопровода	22
ГОРБУНОВ В.П., ГРИГОРЬЕВ В.Ф., МИЦИРУК О.М. Моделирование погрешности перемещений в передаче винт-гайка качения под воздействием тепловых факторов	26
ДЕМЯНЧИК А.С., НАРАНОВИЧ О.И. Влияние комбинированной высокоэнергетической обработки на износстойкость твердосплавных дереворежущих ножей.....	28
ПРОКОПЕНЯ О.Н., ВЛАСОВЕЦ А.А., ОЛЕХ А.Г. Особенности синтеза приводов роботов методом размещения полюсов	30
АКУЛИЧ Я.А., АКУЛИЧ А.П. Исследование взаимодействия пар трения в процессе приработки при различных методах чистовой обработки их поверхностей	33
ВЕРЕМЕЙЧИК А.И., САЗОНОВ М.И., ХВИСЕВИЧ В.М. Исследование формирования турбулентной плазменной дуги и полей температур плазменной струи	36
РЮМЦЕВ А.А., ОСТРИКОВ О.М. Методика расчета полей напряжений у криволинейной полосы сдвига типа чешуйчатого навала, находящегося у поверхности металлического стекла	39
РУСАН С.І., ГАЎРЫЛЕНЯ А.К. Аналітычны метод кінематычнага аналізу трохпавадковай структурнай групы.....	47
МОНТИК С.В., САНЮКЕВИЧ Ф.М. Анализ методик оценки технико-экономических показателей технологического проектирования автотранспортных предприятий	49
НАСКЕВИЧ В.Ю., ЛЕЦІК С.Д., КАЛУГІН Ю.К. Экспериментальное определение средних контактных напряжений в поверхностном слое деталей машин, изготовленных из стали 40Х, подвергнутых химико-термической обработке	52
СИТОВСКИЙ О.Ф., ДЕМБІЦКИЙ В.Н., КАШУБА А.Н. Математическое моделирование процесса движения автомобиля с электрическим приводом	55
БАРСУКОВ В.Г., ХВИСЕВИЧ В.М., ЧИКОВА Т.С., БАРСУКОВ В.В. Расчетная оценка параметров стесненного упруго-пластического деформирования материала при индентировании.....	57
ШТЕПА В.Н., ПРОКОПЕНЯ О.Н., КОТ Р.Е., ПУХА В.М. Микропроцессорная система дозирования реагентов на основе нечёткой логики	60
САВЧУК С.В. Процесс функционирования электрогидропривода в составе системы автоматического регулирования глубины обработки почвы	64
ХВИСЕВИЧ В.М., ВЕРЕМЕЙЧИК А.И., ГАРБАЧЕВСКИЙ В.В., ОНЫСЬКО С.Р. Влияние формы рабочей зоны пуансона на его напряженно-деформированное состояние при пробивке отверстий	67
ДОВГЯЛЛО А.И., КРЮКОВА Д.Е., БЛАГИН Е.В., УГЛАНОВ Д.А. Оценка возможности получения дополнительной электроэнергии в комплексах СПГ	72

УДК 628.16.087+631.171:636.5

Штепа В.Н., Прокопеня О.Н., Ком 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 дозировочного оборудования внутри страны, посколь-

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.

Ком 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. Минск, ул. Днепровской Флотилии, 23.

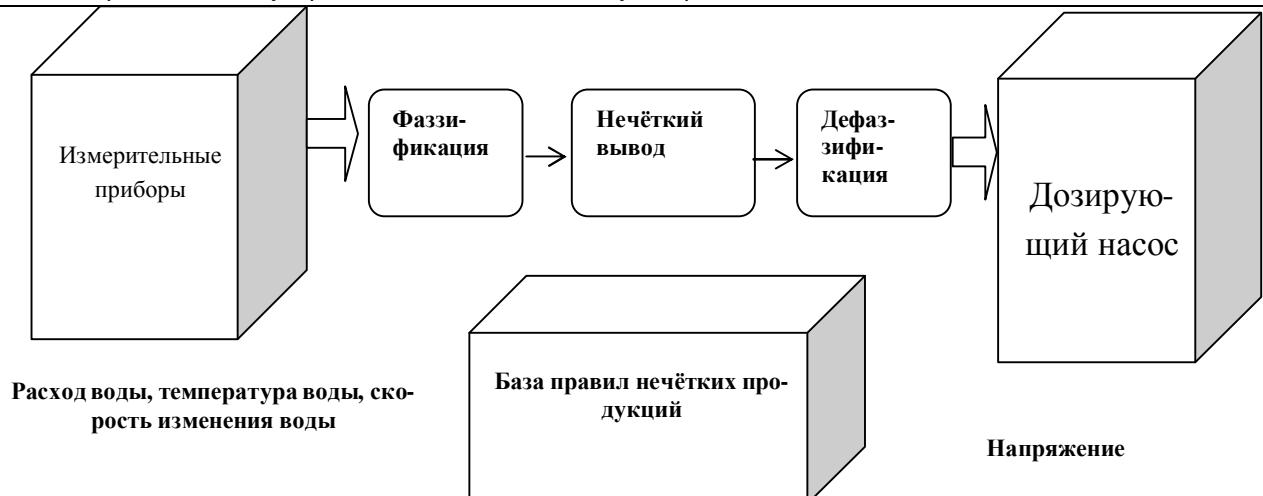


Рис. 1. Архитектура системы нечеткого регулирования дозатором реагентов

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 сбрасываемых 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 управле-

ния дозирующим насосом, который определяет его подачу.

Алгоритм работы автоматической системы регулирования (ACP) 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 цыплята").

В качестве терм-множества первой лингвистической переменной используем множество $T_1 = \{\text{"очень большие расходы воды"}, \text{"большие расходы воды"}, \text{"расходы воды в пределах нормы"}, \text{"малые расходы воды"}, \text{"очень малые расходы воды"}\}$.

В качестве терм-множества второй лингвистической переменной используем множество $T_2 = \{\text{"температура воды ниже нормы"}, \text{"температура воды в норме"}, \text{"температура воды выше нормы"}\}$.

Терм-множеством третьей лингвистической переменной возьмем множество $T_3 = \{\text{"скорость изменения температуры воды положительная"}, \text{"температура воды не меняется"}, \text{"скорость изменения температуры воды отрицательная"}\}$.

В качестве терм-множества выходной лингвистической переменной используем множество $T_4 = \{\text{"очень сильно увеличить дозу хлора"}, \text{"существенно увеличить дозу хлора"}, \text{"незначительно увеличить дозу хлора"}, \text{"не менять дозу хлора"}, \text{"незначительно уменьшить дозу хлора"}, \text{"существенно уменьшить дозу хлора"}, \text{"очень сильно уменьшить дозу хлора"}\}$.

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

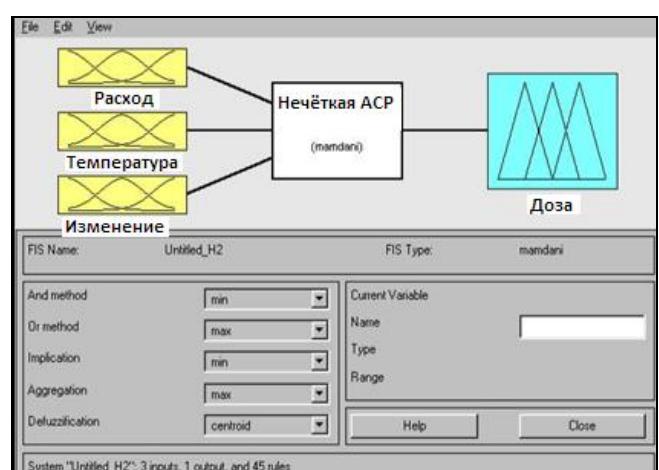


Рис. 2. Нечеткая модель (пакет расширения Fuzzy Logic Toolbox "MatLAB")

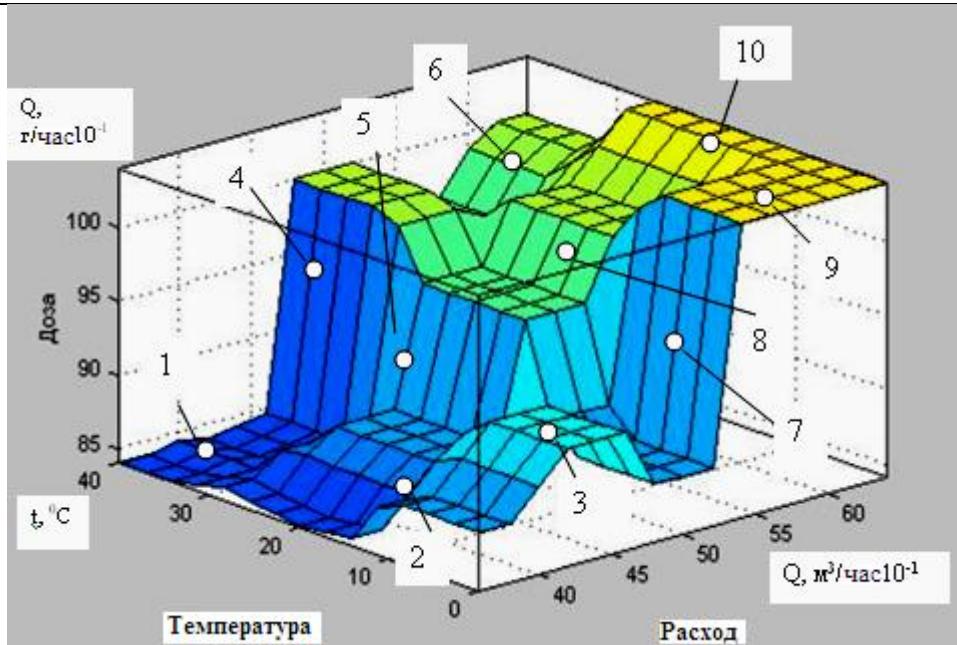


Рис. 3. Зависимость дозы активного хлора от расходов и температуры воды (нанесено 10 экспериментальных характерных точек)

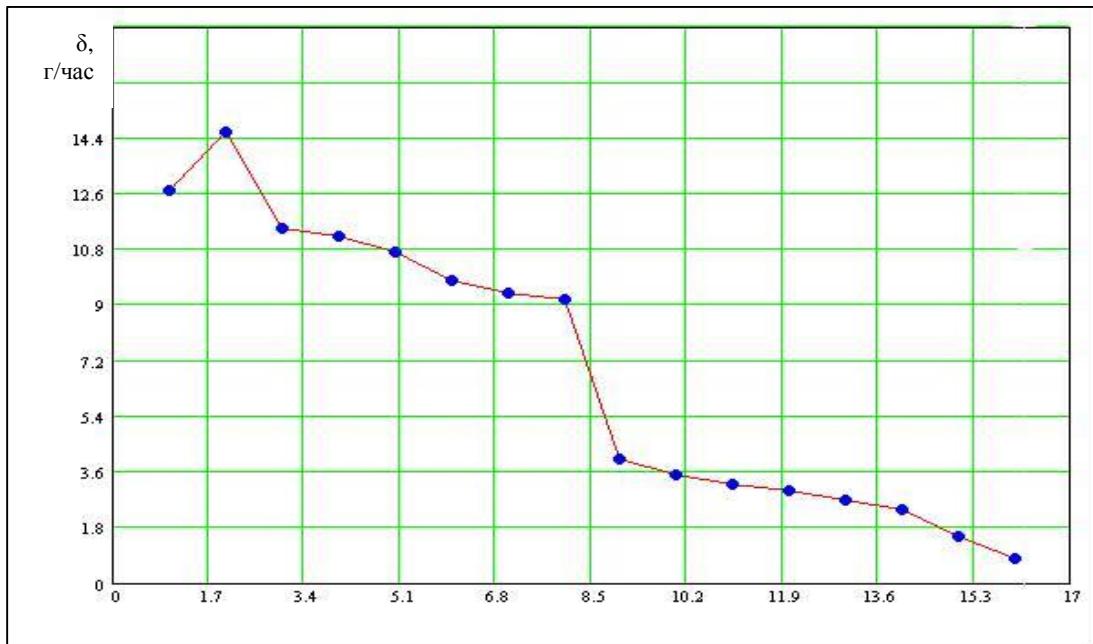


Рис. 4. Этапы итерационной настройки нечеткого регулятора дозирования реагентов

Настройка и проверка созданной модели на адекватность, при которой экспертную оценку давал специалист измерительной лаборатории качества поверхности, 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 среднеквадратичное отклонение:

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{100} (\Delta z_{\text{экспер}} - \Delta z_{\text{теор}})^2}{100}} = 1,27, \text{ г/ч}, \quad (1)$$

где $\Delta z_{\text{экспер}}$ – экспериментально полученная доза хлора;

$\Delta z_{\text{теор}}$ – теоретически полученная доза хлора (нечеткая модель).

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

ская задача подстройки – выйти на значение среднеквадратичного 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 среднеквадратичного 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 СОТА 818, разработанного авторами [4]. Разработанная система регулирования осуществляет:

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

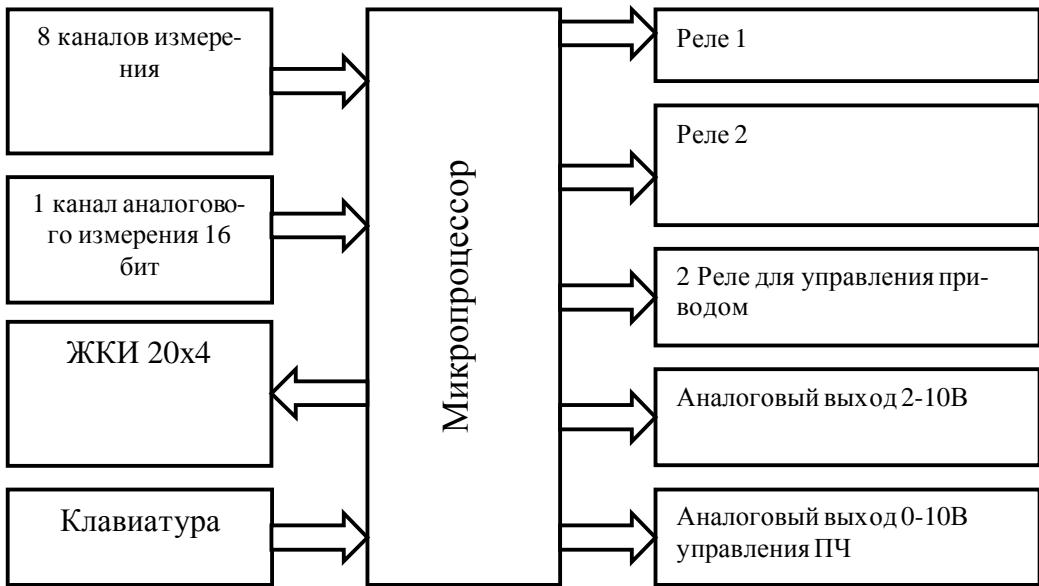


Рис. 5. Структурная схема системы регулирования СОТА 818

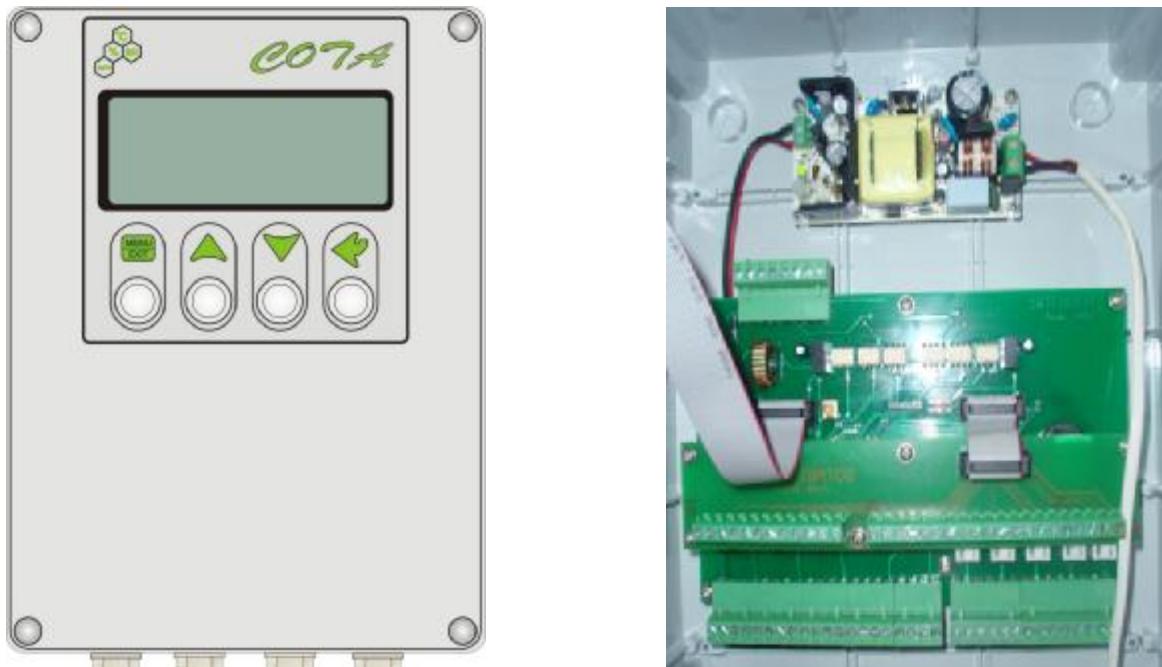


Рис. 6. Внешний вид микропроцессорного блока системы регулирования дозированием реагентов на основе нечёткой логики

Система регулирования СОТА 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 сис-

темах 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 СОТА 818 таким образом, чтобы они совпадали с настройками обмена данными главного компьютера.

Программно регулятор на основе нечеткой 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 SOTA 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 водоочистки, в том числе в условиях нештатных ситуаций со скачкообразными изменениями значений входных параметров. Данные системы можно рекомендовать для промышленного применения.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

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

нейроінформаційних технологій / В.П. Лисенко, В.М. Штепа // Аграрна наука і освіта. – К.: НАУ. – 2006. – Т. 7. – № 1–2. – С. 99–104.

- Донченко, М.И. Очистка растворов от дисперсных примесей методом электроагрегации. 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.
- 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.
- 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/eia_2014_2_10.pdf
- Асай, К. Прикладные нечеткие системы / К. Асай, Д. Ватада, С. Иваи; под ред. Т. Тэррано, К. Асай, 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.