

УДК 681.51

*В.Е. Брунман, А.В. Коняшин, А.П. Петкова,  
А.В. Смородов, Ф.И. Кочанжи*

## **РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ И РЕГУЛЯТОРА УСТАНОВОК МЕМБРАННОГО ЭЛЕКТРОЛИЗА ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ С ВЫСОКИМ КПД**

*V.E. Brunman, A.V. Konyashin, A.P. Petkova,  
A.V. Smorodov, F.I. Kochanzhi*

## **DEVELOPMENT OF THE PRINCIPLES AND SYSTEM OF ADAPTIVE CONTROL FOR WATER DISINFECTION USING MEMBRANE ELECTROLYSIS WITH HIGH EFFICIENCY**

Были разработаны, изготовлены и испытаны комплексная система управления станцией обеззараживания воды с учетом существующих на рынке зарубежных и отечественных электролизеров, а также регулятор выработки анолита для обеззараживания воды в установках мембранного электролиза. Разработаны принципы адаптивного управления электрохимическим синтезом в реакторе электролизеров и создания единой комплексной системы управления станциями обеззараживания. Проведена оценка эффективности комплексной системы управления.

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ. СТАЦИЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ. ЭЛЕКТРОЛИЗЕР. ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ВОДЫ.

Taking into account particulars of the existing in the market foreign and domestic electrolytic disinfection systems the design, manufacture and usage of the integrated management system of water disinfection station were developed. In the course of the work were development of control system of anolyte production for disinfection of water in the membrane electrolysis facilities, development of the principles of adaptive management of the electrochemical synthesis and creation of a single integrated control system for disinfection stations, the efficiency of the integrated management system was evaluated later on.

ADAPTIVE CONTROL. WATER DISINFECTION STATION. CONTROL SYSTEM. ELECTROLYTIC WATER.

Анализ существующих на рынке зарубежных аналогов отечественных электролизеров с ион-селективной диафрагмой показал, что данные конструкции предусматривают оснащение системой контроля и управления внешними параметрами электролиза (расход, давление, сила тока, концентрация исходного солевого раствора). Однако описанные системы контроля используются только для слежения за внешними параметрами процесса электролиза. Между тем полученные зависимости КПД от режимов работы электролизера могут быть использованы для построения посредством дистанционного

мониторинга «обратной связи» с электролизной установкой и управления синтезом анолита через сеть интернет и посредством GPRS модема. Такой подход позволяет оптимизировать внешние параметры процесса электрохимической активации для получения параметров анолита (католита) в требуемом диапазоне. На основе сбора и анализа этих параметров может быть построен алгоритм оптимального управления установками электролиза для обеспечения заданного уровня концентрации хлора в питьевой воде при одновременной минимизации ресурсопотребления установки и максимально бы-

строй ее реакции на возможные колебания расхода воды. Однако в открытых публикациях об отечественных и зарубежных конструкциях электролизеров сведения о такой системе отсутствуют [1–8].

Поэтому для разработки оптимального алгоритма управления установками электролиза экспериментальный малогабаритный биполярный электролизер был оснащен автоматизированной системой управления (АСУ) мембранным электролизером, которая обеспечивает процесс обеззараживания воды, включая управление элементами мембранного электролизера, регулирование параметров рабочих компонентов по заданным алгоритмам, сбор, регистрацию, отображение, хранение и обработку информации всех необходимых сигналов и параметров процесса электролиза\*. Адаптивное управление экспериментальным мембранным электролизом осуществлялось АСУ, построенной на базе программируемых контроллеров автоматизации CompactRIO производства компании «National Instruments» (США). Программное обеспечение АСУ создано в среде графического программирования LabVIEW производства компании «National Instruments» (США).

Предлагаемая двухуровневая система контроля процесса электролиза, кроме перечисленных параметров, которые относятся к работе конкретного электролизера (нижний уровень сбора информации), на верхнем уровне обеспечивает передачу информации на централизованный пульт управления, ее обработку, позволяет управлять с удаленным доступом (с пульта управления) параметрами работы группы объединенных в сеть электролизных станций, вести сбор информации, контроль и оптимизацию процесса электролиза. АСУ позволяет в зависимости от потребления (расхода) воды, который меняется в течение суток, задавать алгоритм снижения концентрации хлора в очищаемой воде пропорционально фактическому расходу воды и соответственно снижать расход электроэнергии пропорционально снижению концентрации хлора в очищаемой воде [2].

Для отработки предлагаемого алгоритма экспериментальная электролизная установка на

\* Работа выполнена в рамках и при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы

базе мембранного электролизера была оснащена автономной системой управления мембранным электролизером (АСУ МЭ), которая обеспечивает управление его элементами, регулирование параметров рабочих компонентов по заданным алгоритмам, сбор, регистрацию, отображение, хранение и обработку информации всех необходимых сигналов и параметров процесса электролиза, а также управление процессом через сеть интернет и посредством GPRS [3].

Структура АСУ МЭ — централизованная (управление из единого центра или группы взаимосвязанных центров) и строится по иерархическому принципу [4]:

на нижнем уровне реализуются автоматические функции управления ходом процесса электролиза (реализация алгоритмов), функции контроля и регулирования переменных сигналов;

на верхнем уровне отрабатываются функции обеспечения деятельности персонала — отображение информации о ходе электролиза, выдача заданий по непосредственному управлению устройствами, управление выполнением функций контроля и регулирования (запуск/останов, включение/выключение, изменение установок, то есть заданных значений регулируемых переменных, и настроек), конфигурирование алгоритмов управления.

Математическое моделирование процесса функционирования установки мембранного электролиза реализовано в программном комплексе LabVIEW-2011. Создана автоматизированная система управления оборудованием, входящим в состав индивидуального оснащения станции обеззараживания жилого или общественного комплекса зданий.

Операторская панель управляющей программы по моделированию функционирования станции обеззараживания представлена на рис. 1, фрагмент блок-диаграммы в среде графического программирования LabVIEW функционирования моделируемой станции обеззараживания приведен на рис. 2.

При формировании управляющего синусоидального сигнала с частотой 50 Гц было принято, что один цикл должен содержать 10 точек; таким образом, формируется массив точек который далее через FIFO буфер передается на ПЛИС и поступает на ПИД регулятор в виде задающего сигнала [5].

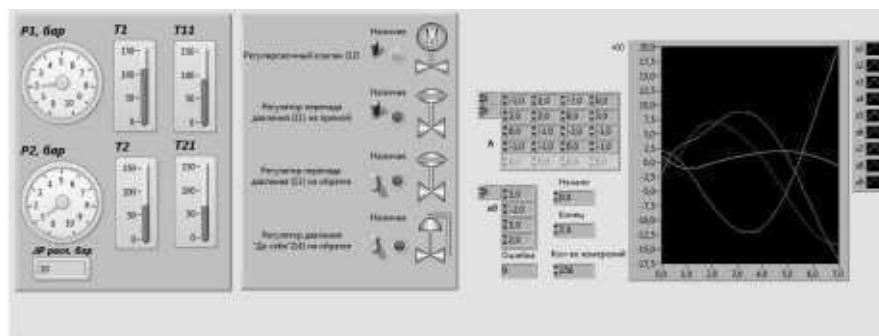


Рис. 1. Операторская панель прибора по моделированию функционирования станции обеззараживания

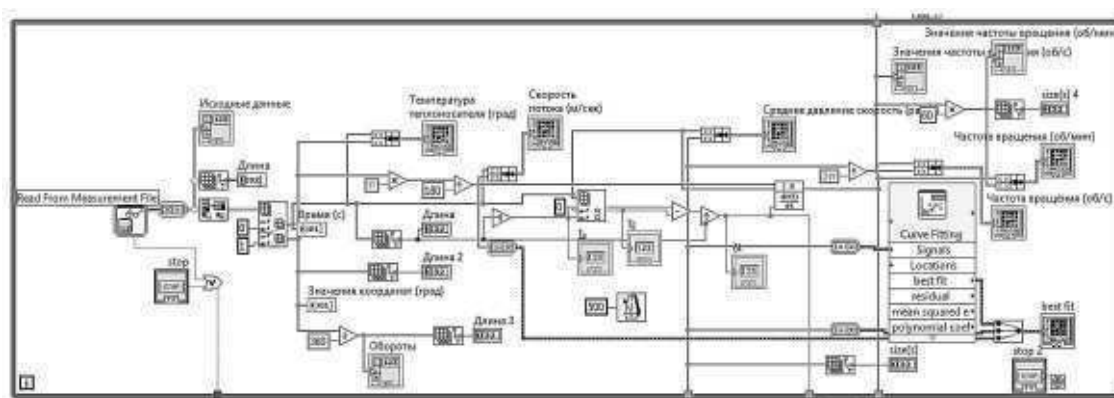


Рис. 2. Фрагмент блок-диаграммы функционирования моделируемой станции обеззараживания

ПИД регулятор сравнивает полученные значения и текущие измеренные значения сигнала, полученные по каналу обратной связи, и формирует управляющий сигнал, который далее поступает на исполнительный механизм (гидроцилиндр мембранного электролизера и/или мембранные насосы).

Была установлена частота дискретизации измеренного сигнала по каждому измерительному каналу 1000 измерений/с. Массив 4000 точек/с через FIFO буфер передается на контроллер, где результаты измерений калибруются (преобразование электрического сигнала в параметры потока перемещения и остаточного хлора в системе), далее массив из 8000 точек/с передается на ПК. Результаты измерений сохраняются одновременно в двух форматах — TDMS и .txt.

При максимальной частоте работы машины 100 циклов выработки хлора соответствует 20 000 с (примерно 5,5 час.), или 20 млн точек

по каждому измерительному каналу. Разработанное решение реализовано на уровне ПК. Счетчик определяет количество массивов данных, записанных в файл. Когда объем данных становится равным или большим, чем указал оператор, файл закрывается и создается новый с тем же именем, но следующим порядковым номером начиная с нуля, и запись продолжается в него, и т. д. В файле также сохраняются все данные о процессе обеззараживания — условия, параметры и т. п. Параллельно данные сохраняются в формате .txt, условия сохранения данных — аналогичные [6].

По результатам моделирования произведен выбор основных элементов станции обеззараживания, определены предельные и номинальные характеристики и режимы, разработан интерфейс системы мониторинга и управления станцией обеззараживания. На рис. 3 представлена операторская панель автоматизированной

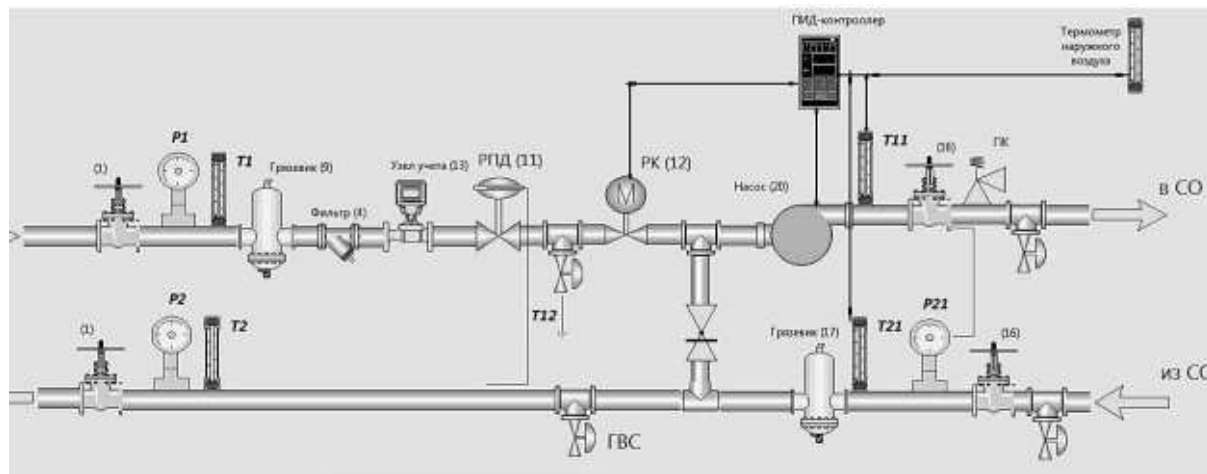


Рис. 3. Панель мониторинга станции обеззараживания

системы управления, предназначенной для осуществления мониторинга. Исходные данные для прибора — требуемый режим обеззараживания, температура, концентрация и скорость потока дезинфектанта, а также параметры запорной и регулирующей арматуры.

Оптимальным решением для системы управления уровнем воды является объединение всех ее компонентов — подсистем измерения и управления — в рамках единой системы, обеспечивающей все функции заявленных подсистем. Такая единая система строится на базе магистрально-модульных платформ, обеспечивающих управление вводом/выводом данных с единого контроллера, соединенного с модулями ввода/вывода сигналов по скоростной шине данных. Использование системы единого времени для всех компонентов АСУ СО представляется одним из наиболее значимых моментов в контексте управления комплексными станциями обеззараживания, состоящими из нескольких установок мембранного электролиза.

На следующем этапе разрабатывались алгоритмы внешнего управления качеством водоподготовки при помощи автоматизированной системы управления станцией обеззараживания. Алгоритм должен учитывать следующие сферы управления [7, 8]:

регулирование параметров мембранного электролизера и управление режимами его работы;

реализацию алгоритмов аварийной защиты;

регистрацию, отображение и обработку медленно- и быстроменяющихся параметров мембранного электролизера.

Комплект станции обеззараживания воды на основе мембранных биполярных электролизеров включал следующее оборудование:

электролизер типа МБЭ — 3 шт. (схема подключения на рис. 4);

источник постоянного тока ZF-1500A-12V — 3 шт.;

растворный солевой бак объемом 1400 л, оборудованный смесительным устройством — 1 шт.;

промежуточную емкость объемом 1400 л — 1 комплект;

емкость объемом 1000 литров для сбора католита — 2 шт.;

насос погружной Grundfos Unilift AP12—2 шт.;

накопительную емкость чистой воды объемом 1600 литров — 2 шт.;

насос-дозатор воды Etatron VT-MF производительностью 80 л/ч — 3 шт.;

насос-дозатор рассола Etatron VT-MF производительностью 80 л/ч — 3 шт.;

прибор контроля общего, остаточного хлора НАСН 9184—1 компл.,

эжектор — 2 шт.;

трубопроводы, фитинги и запорная арматура — 1 компл.;

соединительные силовые шины — 3 компл.;

модуль контроля загазованности помещения хлор/водород — 1 компл.;

блок управления и автоматики compactRIO — 1 шт.

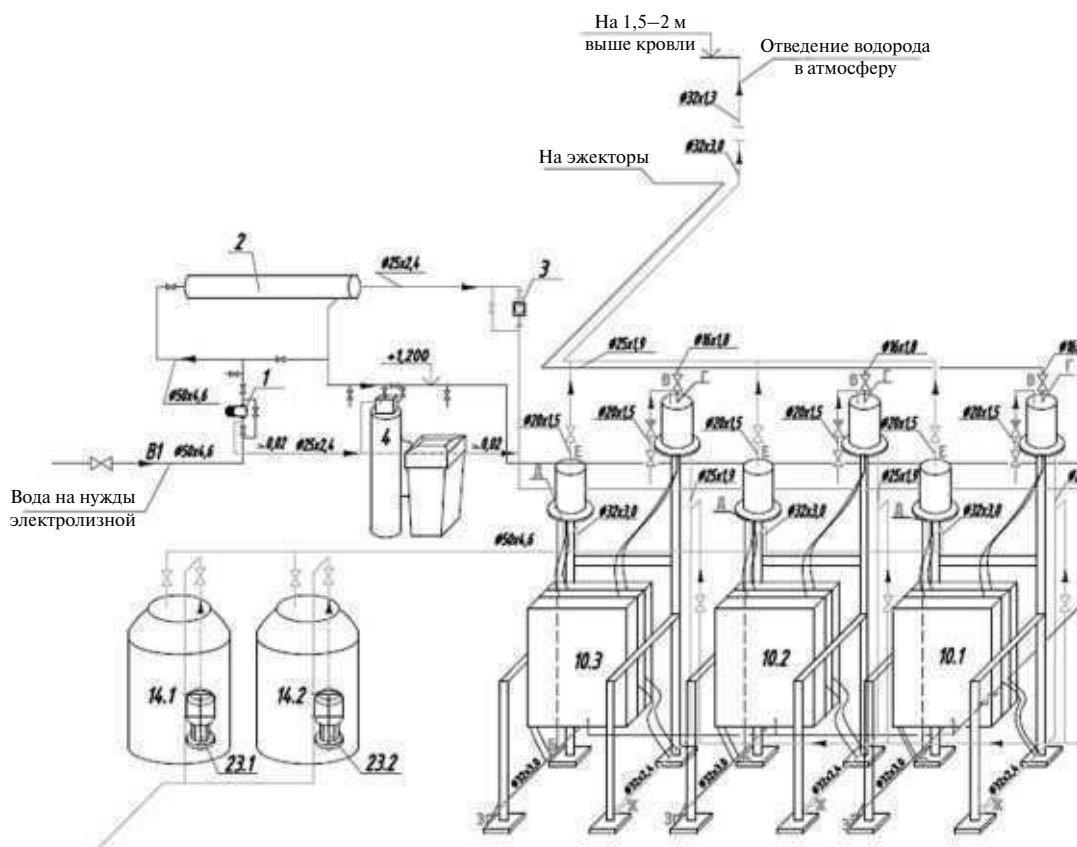


Рис. 4. Схема соединений основного оборудования

Затем была произведена проверка возможностей оборудования и программного обеспечения системы АСУ МЭ по обработке сигналов с подключенного к модулю аналогового ввода контроллера автоматизации датчика прибора контроля общего, остаточного хлора НАСН 9184 производства компании «НАСН-Lange» (США–Германия). С помощью измерительного преобразователя CompactRIO, входящего в состав АСУ МЭ, осуществлялась оцифровка с частотой 10 кГц сигнала с датчика контроля общего, остаточного хлора, установленного на выходе мембранной электролизной установки. Затем производилась обработка полученных данных с помощью алгоритмов фильтрации, имеющихся в составе программного обеспечения АСУ МЭ.

Для необходимой в будущем синхронизации сбора данных с контроллеров, установленных на разных мембранных электролизерах станции обеззараживания и водоподготовки, использо-

вался сигнал GPS приемника, подаваемый на один из дифференциальных входов модуля аналогового ввода. Результаты измерений были представлены в формате числовых данных, графиков и диаграммы.

Как показали проведенное тестирование, а также опыт внедрения и эксплуатации систем регулирования на других установках мембранного электролиза, для эффективной работы таких систем требуется высокоточная фильтрация сигналов с датчиков от электромагнитных помех и технологических шумов, а также последующая их математическая обработка. Для такой фильтрации применялись программные цифровые фильтры контроллера автоматизации CompactRIO.

Дальнейшая математическая обработка производилась как в контроллере, так и на сервере сбора данных, в том числе и с помощью приложений, разработанных с помощью средств программного обеспечения АСУ МЭ. Выделен-

ный полезный сигнал после цифровой обработки программным обеспечением АСУ МЭ и исходный сигнал от датчика прибора контроля остаточного хлора НАСН 9184, полученный через порт Ethernet от контроллера АСУ МЭ CompactRIO, изображены на рис. 5.

Результаты проведенного тестирования показывают, что контроллер АСУ МЭ по своим возможностям полностью удовлетворяет целям сбора, скоростной обработки технологических сигналов и выдачи команд управления в производственных условиях станций обеззараживания и водоподготовки, а программное обеспечение АСУ МЭ обеспечивает простоту разработки, открытость и легкость понимания алгоритмов скоростной обработки и графической визуализации технологических сигналов состояния оборудования и телеизмерений давления в составе систем мембранного электролизера.

Созданная подсистема круглосуточного управления процессами хранения и распределения воды внутри станции обеззараживания позволяет существенно автоматизировать процесс производства, устранить перебои в поставке воды и, как следствие, повысить качество обеззараживания.

Непрерывный контроль уровня воды, а также распределения очищенной воды по соответствующим бакам и анолита для эжекций на станции обеззараживания осуществляется автоматизированной системой управления станцией обеззараживания (АСУ СО).

Распределенная подсистема АСУ СО включает в свой состав 3 измерительных станции, каждая из них представляет собой независимый контроллер CompactRIO, основными функциями которого является непрерывное измерение уровня жидкости в емкости и управление клапанами и насосами при достижении заданных уровней. Информация о работе всех станций передается по сети Ethernet на центральный пульт оператора. Каждая станция обеспечивает измерение уровня посредством микроволнового датчика уровня LFT. При достижении заданных критических уровней станция формирует дискретные команды на включение/выключение мембранных насосов и открытие/закрытие клапанов. В процессе работы системы осуществляется автоматический контроль и отображение уровня жидкости, световая и звуковая сигнализация, а также регистрация тревожных сообщений.

В качестве интерфейса пользователя системы выступает программное обеспечение центрального пульта управления (ЦПУ). На вкладках ЦПУ оператора отображаются состояния емкостей и всех механизмов. В системе предусмотрены процедуры ручного взаимодействия со станциями, калибровки измерительных каналов, настройки параметров программы и оборудования, а также справочная система [9].

Подсистема управления может быть расширена как по количеству станций, так и по количеству, а также номенклатуре измерительных

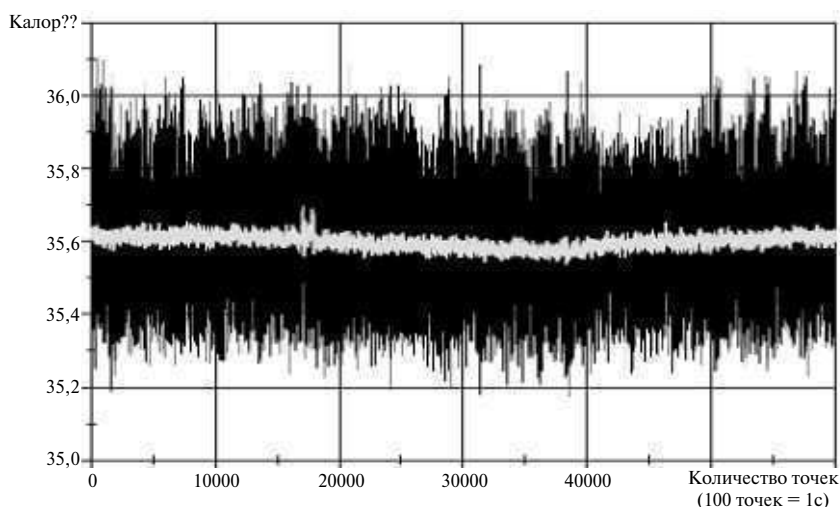


Рис. 5. Исходный сигнал от датчика остаточного хлора НАСН 9184 и выделенный полезный сигнал после цифровой обработки программным обеспечением АСУ МЭ

каналов. Созданная подсистема управления в составе комплексной АСУ СО обеспечивает круглосуточное управление процессами хранения и распределения воды внутри станции обеззараживания, что позволяет существенно автоматизировать процесс производства, устранить избыток хлора в обеззараживаемой воде и, как следствие, повысить качество обеззараживания.

В работе реализована возможность удаленного мониторинга параметров станций обеззараживания и создания карты с указанием параметров остаточного хлора в результате водоподготовки на станциях обеззараживания. Собранные данные передаются модулями на шлюз. Так как один из модулей достаточно удален от точки приема, то для сохранения связи используется дополнительный беспроводной модуль в режиме роутера. На шлюзе происходит усреднение значений и их запись в сетевые переменные. При этом значение остаточного хлора на станции обеззараживания и метка соответствующего времени записываются в файл на сервере.

Имеющиеся библиотеки для баз данных были переработаны с целью увеличения стабильности соединения. Переменные, в свою очередь, передают данные на устройства, обеспечивающие отображение операторского интерфейса НМИ. На том же компьютере работает web-сервер, который позволяет удаленно наблюдать за изменениями показателей остаточного хлора. В результате ту же лицевую панель можно наблюдать в реальном времени с любого устройства, обладающего доступом в интернет и браузером.

Переменные, в которые были записаны данные, могут быть также переданы по сети Wi-Fi и считываться мобильными устройствами, имеющими необходимое программное обеспечение. Использование приложения Dashboard для мо-

бильных устройств на базе операционных систем Google Android и Apple iOS позволяет сохранять единожды созданную лицевую панель в одном из «облачных» сервисом и затем открывать ее на любом iPad или iPhone, а также на любом устройстве с операционной системой Android при наличии в нем данного приложения и зарегистрированного в «облаке» аккаунта [10].

Интерфейс оператора обеспечивает и возможности калибровки каналов измерения потока, перемещения и остаточного хлора в системе, а также возможность подбора параметров ПИД регулятора с сохранением коэффициентов в файле. Разработанная автоматизированная система управления успешно дополнит комплексную АСУ СО, обеспечит удобство работы оператора в управлении установками МБЭ и существенно повысит возможности учета результатов обеззараживания за счет сохранения данных в электронном виде.

КПД оборудования по выработке дезинфектанта имеет широкий разброс величин в зависимости от конструктива, технологии выработки дезинфектанта, эффективности работы вспомогательного оборудования, качества сырья и технического состояния установки. Зависимость концентрации оксидантов в анолите от внешних параметров процесса электролиза в экспериментальной установке МБЭ приведена на рис. 6 и описывается выражением  $C_{ox} = kI/P$ ,  $q = I/P$ , где  $I$  — сила тока, А;  $P$  — расход воды, л/ч;  $q$  — удельное количество электричества, А·ч/л.

Рекомендовано использование полученных результатов для создания автономных систем управления электролизными установками в составе станций обеззараживания, в которых предусмотрены процессы технической диагностики и выдача внешних параметров в регулирующие

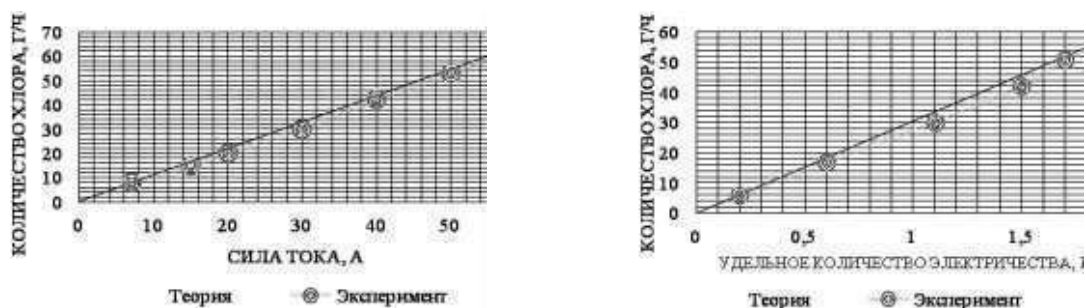


Рис. 6. Зависимость производительности установки МБЭ по хлору от внешних параметров процесса электролиза

органы. Результаты работы предназначены для создания автономных систем управления электролизными установками, осуществляющих процесс технической диагностики, сбор и выдачу внешних параметров на пульт дистанционного управления. Полученные результаты первоначально планируются к внедрению на территории Северо-Запада, а также в структурах Росприроднадзора и МЧС России. Имеется перспектива экспорта разработанного устройства электролиза с АСУ СО зарубежным потребителям аналогичного оборудования.

Испытания комплексной системы управления станцией обеззараживания показало, что система обеспечивает удобство работы операторо-

ра в управлении установками МБЭ и существенно повышает возможности учета результатов обеззараживания за счет сохранения данных в электронном виде.

Использование контроллера реального времени NI compactRIO в составе АСУ СО в сочетании с разработанным алгоритмом управления мембранного электролизера обеспечивает возможность точного управления динамическими гидросистемами и исполнительными механизмами.

Получены зависимости КПД от режимов работы электролизера, позволяющие оптимизировать внешние параметры процесса электролиза в установках МБЭ для получения параметров анолита в требуемом диапазоне.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методы классической и современной теории автоматического управления [Текст] / Под ред. К.А. Пупкова Н.Д. Егупова.— М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.
2. **Аврамчук, В.С.** Функциональный контроль и диагностика электротехнических и электромеханических систем и устройств по цифровым отсчетам мгновенных значений тока и напряжения [Текст] / В.С. Аврамчук, Н.Л. Бацева.— Томск, 2003.
3. **Скворцов, О.Б.** Комплексная система мониторинга и защиты гидроблоков. [Электрон. ресурс] / О.Б. Скворцов, Е.С. Трунин.— Russia power. HydroVision Russia. 2011.— 28–30 марта 2011, PennWell, Конференция
4. **Ту, Ю.** Современная теория управления [Текст] / Ю. Ту / Пер. с англ. Я.Н. Гибадуллина; Под ред. В.В. Солодовникова.— М.: Машиностроение, 1971.
5. **Бесекерский, В.А.** Теория систем автоматического регулирования [Текст] / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов.— М.: Наука, главн. ред. физ.-мат. лит., 1972.— 768 с.
6. **Евдокимов, Ю.К.** LabVIEW для радиоинженера: от виртуальной модели до реального прибора: Практическое руководство для работы в программной среде LabVIEW [Текст] / Ю.К. Евдокимов, В.Р. Линдваль, Г.И. Щербаков.— М.: ДМК Пресс, 2007.— 400 с.
7. **СТО 17330282.27.140.001–2006.** Методики оценки технического состояния основного оборудования гидроэлектростанций [Текст] / Некоммерческое партнерство «Гидроэнергетика России» ОАО «Инженерный центр ЕЭС— Филиал «Фирма ОР-ГРЭС».— М., 2006.— 620 с.
8. **СТО РусГидро 02.01.059–2011.** Гидроэлектростанции. Мониторинг технического состояния основного оборудования. Нормы и требования [Текст] / РусГидро.— М., 2011.— 42 с.
9. **Биргер, И.А.** Техническая диагностика [Текст].— М.: Машиностроение, 1978.— 240 с.
10. **Андриянов, А.В.** Цифровая обработка информации в измерительных приборах и системах [Текст] / А.В. Андриянов, И.И. Шпак.— Минск: Вышэйшая школа, 1987.— 176 с.

#### REFERENCES

1. Metody klassicheskoi i sovremennoi teorii avtomaticheskogo upravleniia [Tekst] // Podred. K.A. Pupkova, N.D. Egupova.— M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Bauman, 2004. (rus.)
2. **Avramchiuk V.S., Batseva N.L.** Funktsional'nyi control' I diagnostika elektrotekhnicheskikh I electromekhanicheskikh system I ustroystv po tsyfrovym otschiotam mgnovennikh znachenii toka I napriazheniia [Tekst].— Tomsk, 2003. (rus.)
3. **Skvortsov O.B., Trunin E.S.** Kompleksnaia sistema monitoring I zashchity gidroblokov. [Electron. resurs].— Russia power Hydro Vision Russia. 2011.— 20–28 marta 2011, PennWell, Conferentsiia. (rus.)
4. **Tu Yiu.** Sovremennaia teoriiia upravleniia [Tekst] / Per. s angl. Ya.N. Gibafullina; Pod red. V.V. Solodovnikova.— M.: Mashinostroenie, 1971. (rus.)
5. **Besekerskii V.A., Popov E.P.** Teoriiia system avtomaticheskogo regulirovaniia [Tekst].— M.: Nauka, glavn. red. fiz.-mat. lit., 1972.— 768 s. (rus.)
6. **Evdokimov Yu.K., Lindval' V.R., Shcherbakov G.I.** LabView dlia radioinzhenera ot virtual'noi modeli do real'nogo pribora. Praktichskoe rukododstvo dlia raboty v



programmnoi srede LabView [Tekst].— M. DMK Press, 2007.— 400 s. (rus.)

7. **STO 17330282.27.140.001—2006.** Metod(rus.)ki otsenki tekhnicheskogo sostoiianiia osnovnogo oborudovaniia gidroelectrostantsii [Tekst] / Nekommercheskoe partnerstvo «Gidroenergetika Rossii». OAO «Inzhenernyi tsentr EES — Filial «Firma ORGRES».— M., 2006.— 620 s. (rus.)

8. **STO RusGidro 02.01.059—2011.** Gidroelektrostantsii. Monitoring tekhnicheskogo sostoiianiia osnovnogo oborudovaniia. Normy i trebovaniia [Tekst].— M., 2011.— 42 s. (rus.)

9. **Birger I.A.** Tekhnicheskaiia diagnostika [Tekst].— M.: Mashinostroenie, 1978.— 240 s. (rus.)

10. **Andriianov A.V., Shpak I.I.** Tsyfrovaia obraborka informatsii v izmeritel'nykh priborakh I sistemakh [Tekst].— Minsk.: Vysheishaia shkola, 1987.— 176 s. (rus.)

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**ПЕТКОВА Ани Петровна** — доктор технических наук профессор кафедры технологий конструктивных материалов и материаловедения Института металлургии, машиностроения и транспорта Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая 29, e-mail: apetkova@inbox.ru.

**СМОРОДОВ Андрей Владимирович** — кандидат технических наук доцент кафедры автоматов Института металлургии, машиностроения и транспорта Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая 29

**КОНЯШИН Александр Викторович** — аспирант кафедры автоматов Института металлургии, машиностроения и транспорта Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая 29, e-mail: akonyashin@ya.ru

**КОЧАНЖИ Федор Иванович** — студент кафедры автоматов Института металлургии, машиностроения и транспорта Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая 29, e-mail: fred\_1990@list.ru.

**БРУНМАН Владимир Евгеньевич** — кандидат экономических наук доцент кафедры электротехники и электроэнергетики Института энергетики и транспортных систем Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая 29, e-mail: brunman@yandex.ru.

### AUTHORS

**PETKOVA Ani P.** — St. Petersburg State Polytechnical University; 195251, Politekhnikeskaya Str. 29, St. Petersburg, Russia; E-mail: apetkova@inbox.ru.

**SMORODOV Andrey V.** — St. Petersburg State Polytechnical University; 195251, Politekhnikeskaya Str. 29,

**KONYASHIN Alexander V.** — St. Petersburg State Polytechnical University; 195251, Politekhnikeskaya Str. 29, Petersburg, Russia; e-mail: akonyashin@ya.ru

**KOCHANZHI Fiodor I.** — St. Petersburg State Polytechnical University. 9, Politekhnikeskaya St., St. Petersburg, Russia, 195251; e-mail: fred\_1990@list.ru

**BRUNMAN Vladimir E.** - St. Petersburg State Polytechnical University; 195251, Politekhnikeskaya St. 29, Petersburg, Russia; e-mail: brunman@yandex.ru