

УДК 621.317.799 — 52: 543.3

© А. Л. Москвин, И. А. Ардашникова, А. Б. Тихомиров

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ВОДНЫХ СРЕД

Рассмотрены принципы построения автоматизированных многопараметрических систем для химико-аналитического контроля непрерывных технологических процессов и экологического мониторинга. Рассмотрены аппаратно-программный комплекс, его архитектура, программно-математическое и алгоритмическое обеспечение.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие методов анализа в потоке [1, 2] позволило перейти от автоматизации химического анализа, проводимого в лабораторных условиях, к созданию автоматизированных систем непрерывного контроля, функционирующих в режиме "on line". Обсуждаются новые возможности для близкого к реальному времени мониторинга с помощью проточно-инжекционного анализа (ПИА) [3], общие возможности ПИА в процессах контроля "on line" [4] и возможности объединения принципов ПИА и непрерывного проточного анализа (НПА) при создании автоматизированных систем контроля водных сред [5]. Таким образом, саму принципиальную возможность создания автоматизированных систем контроля водных сред с использованием проточных методов анализа можно считать доказанной. Более того, подобные системы прошли практические испытания в составе судовых природоохранных комплексов, позволяющих непрерывно контролировать качество воды в режиме движения судна по акватории [6].

При наличии многочисленных сведений о конкретных методиках и анализаторах для проточного анализа в то же время трудно найти сведения о структуре и программно-математическом обеспечении (ПМО) автоматизированных многопараметрических систем химико-аналитического контроля (АМСХК). Математические разработки в ПИА в основном ориентированы на моделирование процессов, происходящих в гидравлических коммуникациях, и описание размывания пробы в потоке [7].

Целью настоящей работы является поиск и обоснование основных принципов и подходов к построению АМСХК с точки зрения особенностей архитектуры аппаратного комплекса и с позиции алгоритмического и программного обеспечения.

1. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА (АПК)

На начальном этапе создания АМСХК аппаратура разрабатывалась с использованием параллельного интерфейса IEEE488, по которому осуществлялось взаимодействие ПЭВМ с подключаемыми анализаторами. Скорость передачи данных при такой конфигурации могла быть очень высокой. Но стандартный протокол IEEE488 обладал весьма ограниченными возможностями в отношении управления и передачи данных и регулирования скорости взаимодействия. Поэтому данная конфигурация модифицирована: была разработана плата ЦВВ-адаптера, позволяющая осуществлять взаимодействие по параллельному интерфейсу, для которого разрабатывался свой протокол общения.

При большей гибкости данный АПК обладал теми же достоинствами и недостатками — скорость обмена данными была очень высокой, но реализация параллельного интерфейса была слишком сложной, требовала использования нестандартных средств подключения и нестандартного программного обеспечения, а система в целом обладала низкой помехозащищенностью. В результате возникла необходимость искать иные подходы к построению АПК.

Так как от разрабатываемой нами АМСХК для контроля качества природных вод не требуется большого быстродействия (скважность получения информации составляет десятки секунд), решено было отказаться от использования параллельного интерфейса и перейти к последовательному интерфейсу RS232—RS485, который требует только стандартных средств подключения, которыми комплектуется каждая ПЭВМ, что значительно упростило реализацию АПК и привело к улучшению характеристик помехозащищенности.

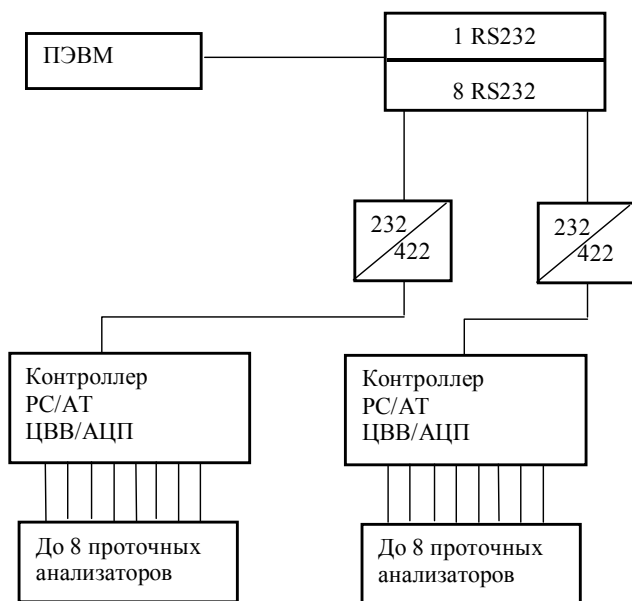


Рис. 1. Архитектура аппаратно-программного комплекса с использованием контроллеров

В качестве экспериментального варианта была предложена конфигурация АПК (рис. 1), включающая в качестве промежуточного звена контроллеры, разработанные на базе процессоров РС/АТ, которые по параллельному интерфейсу связывались с анализаторами, а по последовательному интерфейсу (конвертор 232/422 и RS232) — с ПЭВМ. В данной конфигурации параллельный интерфейс прокладывался на короткое расстояние (1.5 м в отличие от предыдущих конфигураций, в которых длина проводов достигала нескольких десятков метров), что значительно снижало возможность возникновения помех. Но в целом эта конфигурация была чрезмерно усложнена и с точки зрения реализации, и с точки зрения программного обеспечения. Так как при ее реализации использовался RS232, обеспечивающий намного более низкие скорости обмена данными, чем RS485, поэтому часть математических операций, связанных с обработкой данных, пришлось передать программе контроллера, что повлекло за собой необходимость отладки двух специальных программ и повысило вероятность сбоев со стороны программного обеспечения (ПО).

В окончательном варианте в качестве архитектуры АМСХК была выбрана распределенная модульная система управления, сбора и обработки информации с последовательными каналами обмена информацией, построенная на базе аппаратно-программных средств.

Такой подход к созданию автоматизированных систем позволил обеспечить интеграцию управле-

ния сложными комплексами, состоящими из большого количества различного по назначению оборудования. Одно из основных достоинств реализованного аппаратно-программного комплекса — гибкость и функциональная расширяемость сразу по двум направлениям: по количеству анализаторов и по количеству дополнительных сервисных устройств, подключаемых к каждому из них.

1.1. Архитектура аппаратно-программного комплекса

АМСХК была реализована в виде иерархической сети (рис. 2), где на верхнем уровне 1 находится персональный компьютер (ПК) с процессором Intel Pentium—PentiumIII или его аналогом, с установленной на нем операционной системой Windows-NT 4.0 или Windows-9x. На среднем уровне 2 находятся приборы, и на нижнем уровне 3 находятся дополнительные устройства (ДУ), подключаемые к приборам.

Под прибором подразумевается проточный анализатор с детектором определенного типа и средствами его коммутации в АМСХК.

В состав каждого прибора входит (рис. 3):

- адресуемый конвертор RS485<—>RS232 (в случае конфигурации ПК—Прибор—ДУ конвертор не нужен, т.к. прибор подключается прямо к одному из последовательных портов ПК);
- плата управления (ПУ) на микроконтроллере PIC16xxx фирмы MICROCHIP (МК);
- дополнительное устройство № 1, в состав которого тоже входит МК.

Уровень 1 является "ведущим" по отношению к уровню 2. Уровень 2 является "ведущим" по отношению к уровню 3.

ПК передает команды и принимает данные от приборов посредством интерфейса RS485. В свою очередь прибор ретранслирует команду от ПК дополнительному устройству по шине I²C, данные от ДУ в прибор также передаются по шине I²C.

К одному ПК можно подключить до 16 приборов с ПУ, а к одному прибору с ПУ можно подключить до 127 дополнительных устройств.

1.2. Выбор микроконтроллера

Выбор микроконтроллера PIC16xxx определился его архитектурой и следующими особенностями:

- высокопроизводительный RISC-ЦПУ (всего 35 команд);
- рабочая тактовая частота — до 20 МГц (инструкция выполняется за 200 нс);
- программируемая память — до 8К×14-разрядных слов;
- память для данных (RAM) — до 368×8 байт;

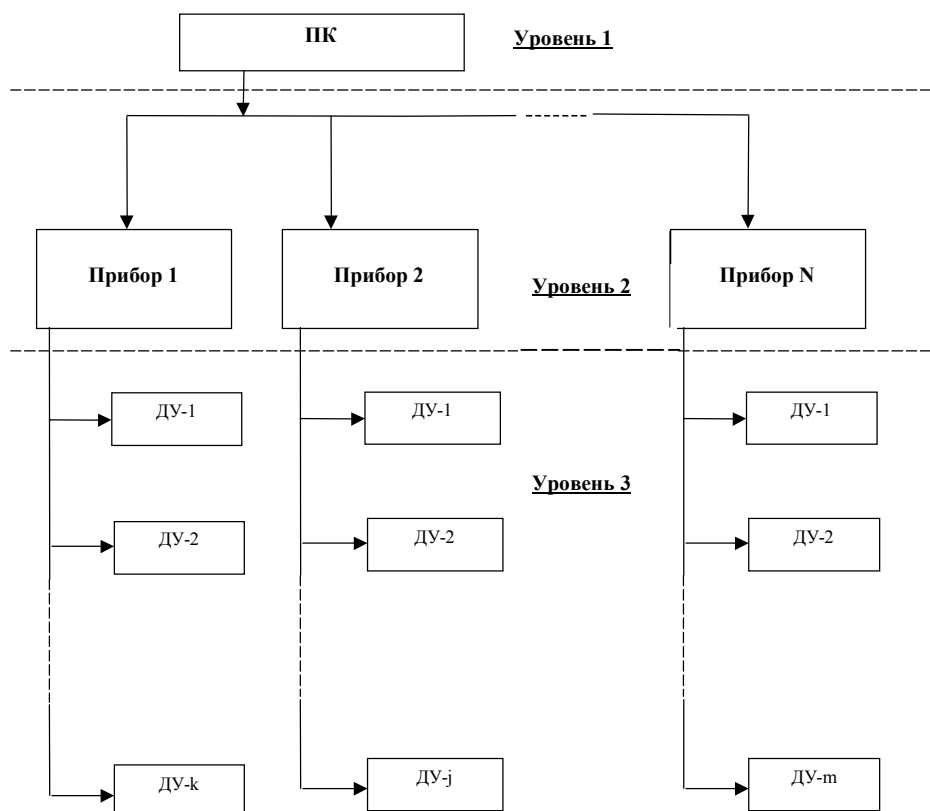


Рис. 2. Архитектура аппаратно-программного комплекса по принципу распределенной системы с последовательным интерфейсом

- возможность обработки прерываний;
- стек — 8 байт;
- сторожевой таймер (WDT) со своим собственным RC-генератором;
- режим SLEEP для уменьшения потребляемой мощности;
- нагрузочная способность выводов портов до 25 мА как на вход, так и на выход;
- синхронный последовательный порт с поддержкой протоколов I²C и SPI;
- универсальный синхронный/асинхронный приемник—передатчик (UART).

Помимо перечисленных выше особенностей, привлекательным является и такой фактор, как небольшая стоимость МК.

Наличие высокоскоростного UART позволяет подключать к одному порту RS485 в ПК до 16 приборов. В микроконтроллере, установленном на ПУ, программно реализована поддержка режима "Ведущий" протокола I²C. В микроконтроллерах PIC16xxx фирмы MICROCHIP есть аппаратная поддержка режима "Подчиненный" протокола I²C, что значительно облегчает программирование МК.

В дополнительных устройствах, подключаемых к ПУ, установлены именно такие МК, что обеспечивает возможность подключения к ПУ до 127 дополнительных устройств.

В нашем случае такими устройствами являются:

- плата с 16-разрядным АЦП для сбора данных;
- автоматический пробоотборник;
- дополнительные перистальтические насосы, краны—переключатели, секвенсоры, устройства фильтрации и т.п.

2. ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ ПРОГРАММНО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОМПЛЕКСА

При построении АМСХК проточные анализаторы разрабатывались по модульному принципу. В зависимости от стоящей задачи каждый из анализаторов может быть укомплектован одним из детекторов: фотометрическим, ионометрическим,

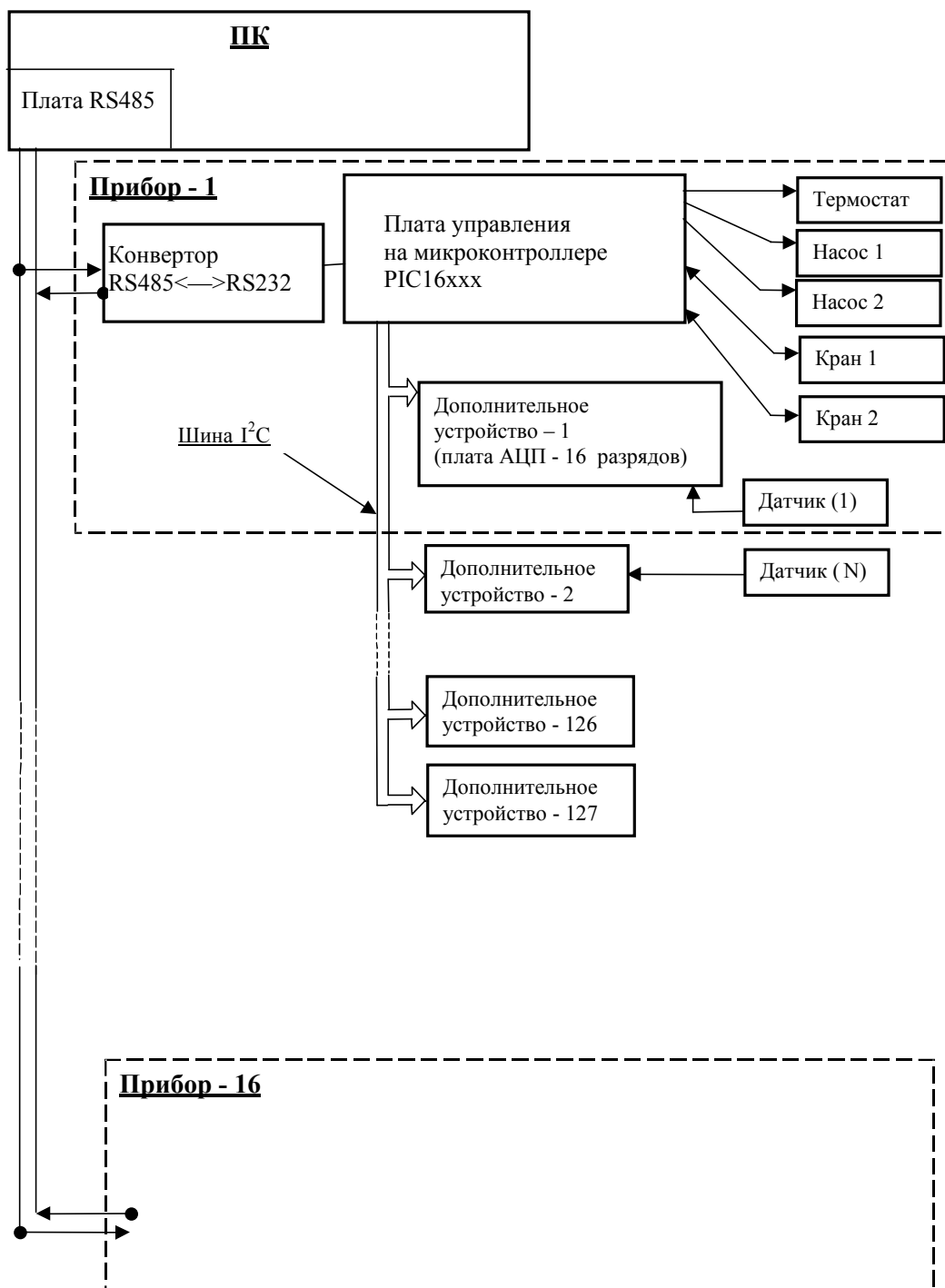


Рис. 3. Схема модульного построения прибора

флюориметрическим. Все детекторы, которыми комплектуются анализаторы АМСХК, унифицированы по выходному сигналу. Количество анализаторов в системе определяется лишь требованиями поставленной задачи и при наличии разрабо-

танного методического обеспечения может быть при необходимости увеличено.

Подобная схема системы контроля требует особого подхода к построению программно-алгоритмического обеспечения. Оператор при

подготовке системы к работе должен иметь возможность гибкого конфигурирования системы исходя из стоящих перед ним задач, включая выбор набора детекторов и способа обработки аналитического сигнала по принципу: каждый анализатор допускает установку любого типа детектора и использование любого алгоритма обработки (рис. 4).

Реализованное на такой основе ПМО позволяет добавлять новые алгоритмы обработки, связывая их с имеющимся набором детекторов. В данный момент имеется 3 вида детекторов — фотометрический, ионометрический и флюориметрический, каждый из которых может использовать 3 алгоритма обработки, причем на каждом анализаторе независимо от типа детектора может реализоваться один из двух режимов анализа (ПИА или НПА) с различными алгоритмами обработки.

При разработке ПМО для реализации различных режимов анализа в потоке в АМСХК, предна-

значавшихся для судовых природоохранных комплексов (СПК) — АМСХК СПК, потребовалась разработка взаимосогласованной системы математических методов обработки детектируемых сигналов [8] как на стадии их предварительной обработки, так и при расчете концентрации определяемых компонентов. Принципиальной особенностью измерительной системы анализа в потоке, для которой разрабатывалось ПМО, являлось также большое количество информационных каналов, работающих в реальном времени, и необходимость отображения данных на картах маршрута движения судна, что потребовало обратить особое внимание на ресурсы оперативной памяти и производительность компьютера.

При разработке информационно-логической модели данных АМСХК СПК (рис. 5) необходимо было учесть два взаимосвязанных подхода к комплексу: как к системе физических приборов, каждый из которых имеет свои характеристики, и как

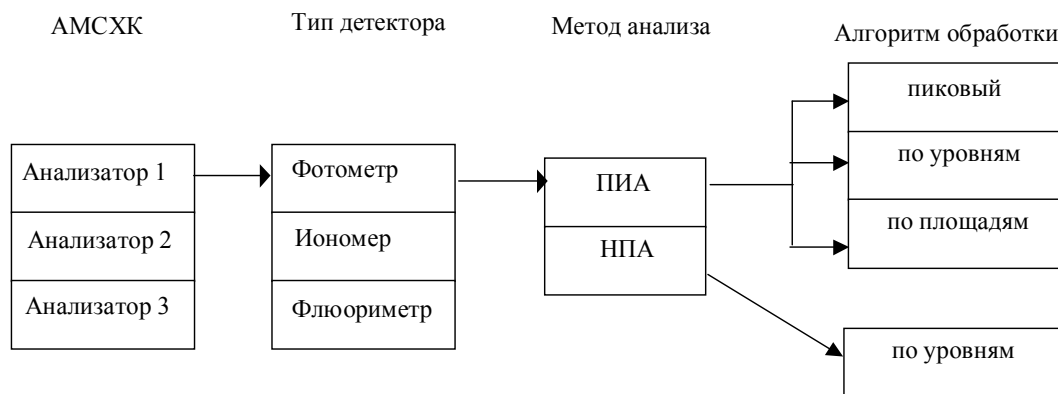


Рис. 4. Схема интерфейса "Оператор—система" при выборе конфигурации системы

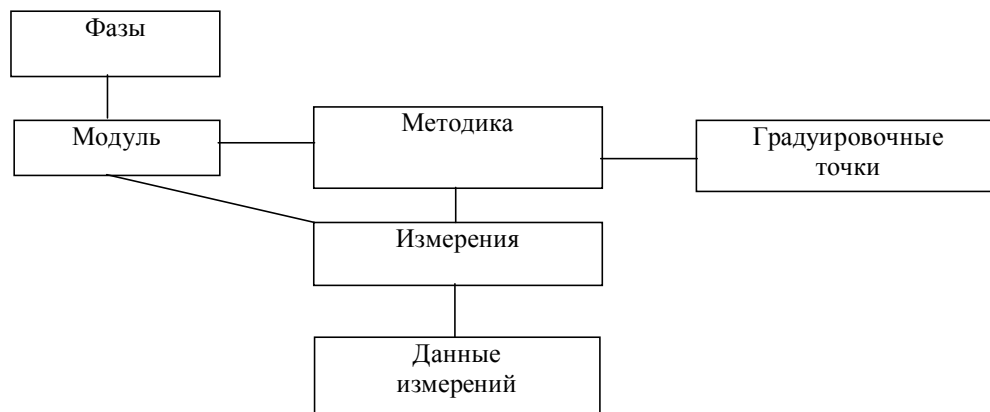


Рис. 5. Информационно-логическая модель данных АМСХК СПК

к набору методик с конкретными математическими параметрами, чтобы обеспечить возможность выбрать для конкретного модуля методику, отредактировать и сохранить параметры математической обработки.

При разработке интерфейсной оболочки системы непрерывного контроля необходимо было реализовать возможность одновременного экспресс-мониторинга всех анализаторов системы, в ходе которого должен осуществляться вывод сообщений и графической информации всей группы работающих анализаторов, а также подробный мониторинг и управление на отдельном выбранном анализаторе, что повлекло за собой реализацию двухуровневого интерфейса, обеспечившего возможность работы как с системой в целом, так и с отдельными анализаторами.

Одной из существенных проблем при разработке алгоритмических подходов явилась архивация данных и последующий просмотр архива. Должна была быть предусмотрена непрерывная работа комплекса в течение нескольких суток, в ходе которой данные от анализаторов поступают каждую секунду. Необходимо было реализовать сжатое хранение больших массивов данных, быстрый и удобный выбор и просмотр данных из архива за определенный временной период.

3. СТРУКТУРА АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Для решения поставленной задачи был разработан сложный многоуровневый алгоритм, на основе которого реализован пакет программ, включающий следующие компоненты.

Интерфейсную графическую оболочку "Оператор—система", адаптированную к структуре системы контроля и представляющую собой визуальное представление состояний отдельного прибора (рис. 6) и системы в целом (рис. 7).

Данный графический интерфейс дает: возможность ручного и автоматического управления, наблюдения за процессом измерений в реальном времени; гибкую конфигурацию системы на разных уровнях (конфигурирование системы в целом, настройку параметров на каждом из анализаторов в зависимости от определяемого компонента, включая его градуировку для определения каждого из компонентов).

Оператор может выбрать степень детализации получаемой информации на любом из этапов работы. Удобная система подсказок и контекстной помощи позволяет быстро овладеть навыками работы с ПМО даже неопытному оператору.

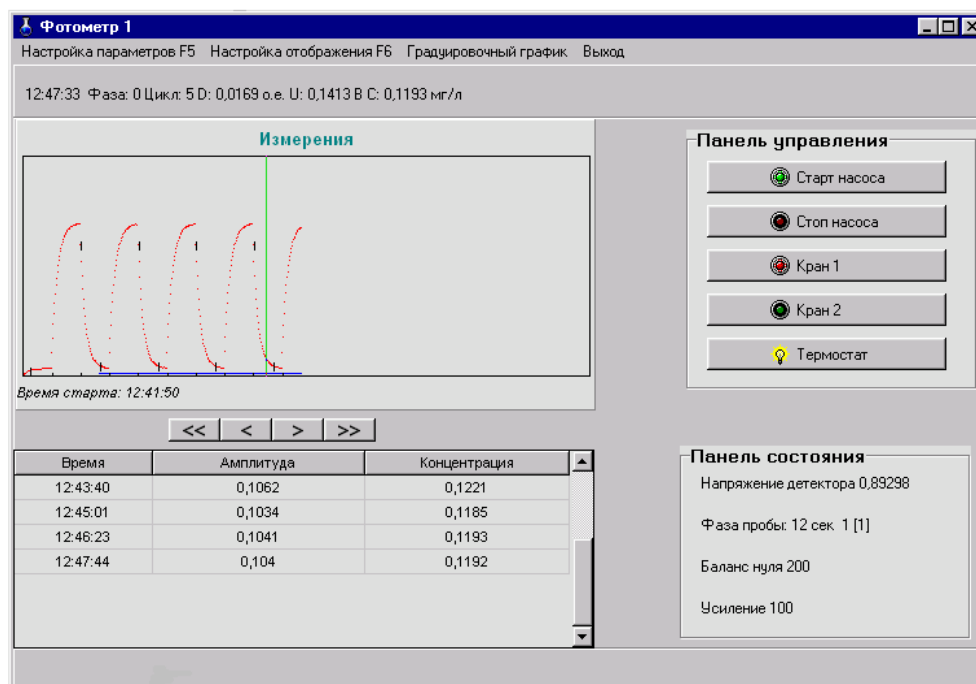


Рис. 6. Отображение отдельного анализатора, входящего в АМСХК СПК

В случае сбоя в работе на экране появляются предупреждающие сообщения о характере сбоя или график меняет цвет (при выходе за диапазон измерения контролируемых показателей);

Графическую библиотеку для отображения и работы с графиками результатов и градуировочными графиками;

Математическую библиотеку методов цифровой фильтрации сигнала с учетом особенностей проточно-инжекционного анализа;

Пакет программ обработки получаемых данных (выделение стабильных уровней различными методами анализа, расчет концентрации в случае проточного и проточно-инжекционного анализов для каждого из возможных способов детектирования, построение градуировочной кривой с использованием нескольких способов интерполяции, расчет метрологических характеристик получаемых результатов);

Пакет программ для связи и передачи команд контроллеру и сетевого взаимодействия с внешними программами и устройствами;

Пакет программ архивации информации и работы с базами данных.

ПМО предоставляет оператору возможность работы системы в следующих режимах:

- тестирования аппаратуры,
- измерения,
- градуировки,
- ручного управления,
- работы с архивом.

В каждом из режимов выбирается группа анализаторов и для нее ведется работа в необходимом режиме. Есть возможность программного отключения любого анализатора из группы непосредственно в ходе работы в любом заданном режиме.

Основным для АМСХК является измерение концентрации контролируемых компонентов в воде в режиме ПИА, при котором осуществляется периодическое чередование операций инжектирования в анализируемую воду раствора реагента или фонового раствора. Измерение концентраций при этом производится циклически, и в каждом цикле представляется возможность учесть отклонение аналитического сигнала, вызванное как изменениями характеристик анализируемой среды, влияющих на показания соответствующих детекторов, так и нестабильностью работы анализатора. Преимуществом режима ПИА является возможность учета дрейфа базовой линии детектора и соответственно получение более точных данных о

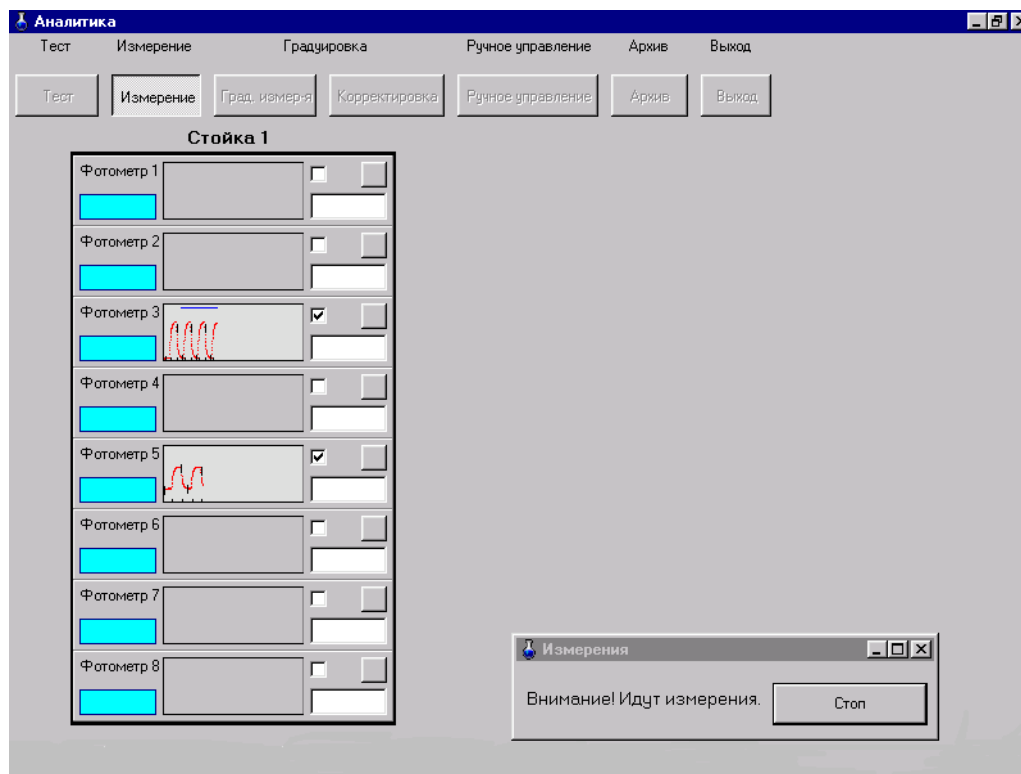


Рис. 7. Отображение АМСХК СПК

содержании в воде контролируемых компонентов, но данные при этом получаются не непрерывно, а со скважностью 3–5 минут в зависимости от методики анализа.

При необходимости обеспечения максимальной оперативности в получении информации в таких ситуациях, как наблюдение за изменением состава контролируемой воды при обследовании акваторий с локальными зонами загрязнений, например факелами сбросов, более предпочтительно использование режима НПА. В этом случае измерение концентраций контролируемых загрязнителей в потоке забортной воды осуществляется непрерывно, однако любая нестабильность в работе аппаратуры, и в первую очередь изменение свойств контролируемой среды, например оптических в случае фотометрического или флюориметрического детектирования, может привести к возрастанию погрешности измерений. ПМО предоставляет оператору возможность использовать любой из режимов анализа, выбрав его на панели настройки параметров.

Вместе с ПМО также предоставляются базы данных (БД) всех методик измерений с оптимальными для каждого из контролируемых показателей установочными параметрами. Оператор по своему усмотрению может использовать данные параметры или изменять их в ходе работы с системой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

АМСХК СПК уже в течение нескольких лет используется на судах "Экопатруль-1" и "Экопатруль-2", созданных по заказу Федерального экологического фонда РФ и эксплуатируемых в Северо-Западном и Средне-Волжском регионах соответственно. Накопленный опыт работы с АМСХК в различных регионах России показывает, что эти системы позволяют эффективно решать разнообразные природоохранные задачи: мониторинга; оперативного контроля за соблюдением экологиче-

ского законодательства (работа в режиме "экологической полиции"); определения пространственной и временной неоднородностей качества вод акватории; выявления и контроля локальных источников загрязнения; отслеживания процессов перемещения и смешения водных масс разного происхождения; сопровождения различных работ на акватории, таких как дноуглубительные работы, строительство защитных, портовых и других сооружений; работы в режиме чрезвычайных ситуаций; подготовки экспериментальных данных для экологической экспертизы различных работ, планируемых в акваториях, и т.п.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ruzicka J., Hansen E.H. // Flow-injection analysis, 2nd ed. (ser. "Chemical analysis"). New York: J. Wiley & Sons, 1988. V. 62. 498 p.
2. Шнигун Л.К. // ЖАХ. 1990. Т. 45, № 6. С. 1045–1090.
3. Ranger C.B. // Automated stream analysis for process control / Ed. D.P. Manka. New York: Academic Press, 1982. V. 1. P. 39–67.
4. Van der Linden W.E. // Analytica Chimica Acta. 1986. V. 179. P. 91–101.
5. Москвин А.Л., Мозжухин А.В., Москвин Л.Н. // Заводская лаборатория. 1996. № 1. С. 7–11.
6. Москвин А.Л., Москвин Л.Н., Ардашникова И.А. // ЖПХ. 1999. Т. 72, № 8. С. 1320–1324.
7. Flow Injection Analysis: Theoretical Basis / Ed. S.D. Kovel. Singapore: World Sci., 1996. 250 p.
8. Ардашникова И.А., Москвин А.Л., Хащанский В.И. // Научное приборостроение. 2000. Т. 10, № 2. С. 76–80.

Научно-производственное объединение "Гранит-НЭМП", Санкт-Петербург

Материал поступил в редакцию 11.03.2001.

HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX FOR COMPUTER-BASED MULTIPARAMETER AQUEOUS MEDIUM MONITORING SYSTEMS

A. L. Moskvina, I. A. Ardashnikova, A. B. Tikhomirov

Research and Production Association GRANIT-NEMP, Saint-Petersburg

The design principles of automated multiparametric systems for chemical analytical control of continuous processes and environmental monitoring are considered. The hardware-software complex, its architecture, mathematical programming and algorithmic support are described.