

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Марковский Ю.Е. ✓

Донецкий национальный технический университет, кафедра ЭТ, г. Донецк

E-mail: y.markovskyy@gmail.com

Abstract

Markovskyy Y.E. Information-measuring system of drinking waters quality monitoring. The urgency of developing of such systems is discussed. Structure of Information-measuring system of drinking waters quality monitoring for Donetsk region is proposed. Algorithm of functioning of such system is considered.

Общая постановка проблемы. Водные ресурсы являются одним из наиболее важных и вместе с тем наиболее уязвимых компонентов окружающей среды, которые способны очень быстро изменяться под влиянием деятельности человека. По мере возрастания воздействия человеческого общества на окружающую среду проблема чистой воды все более обостряется. Данная проблема является крайне актуальной для Донбасса: наличие на берегах канала «Северский Донец-Донбасс» – основного источника водоснабжения Донбасса – большого количества источников сбросов создает возможность возникновения неконтролируемых превышений концентрации загрязняющих веществ в поверхностных водах, несмотря на существующий контроль, осуществляемый лабораториями очистных сооружений. Т.о. вполне обоснованной для Донецкого региона является разработка информационно-измерительной системы (ИИС) контроля качества питьевой воды, позволяющей осуществлять объективный контроль качества питьевой воды в реальном времени.

Существующая схема подготовки питьевой воды на основе природных поверхностных вод. Поскольку данная работа посвящена разработке ИИС контроля качества питьевой воды Донецкого региона, то целесообразно рассмотреть схему подготовки питьевой воды на донецкой фильтровальной станции (ДФС), упрощенная структурная схема которой представлена ниже (см. рис. 1)

Среднесуточная подача питьевой воды потребителям составляет 412 тыс.м³ в сутки. Обеспечение населения питьевой водой осуществляется:

- на 80% путём реализации воды, подаваемой ГПП «Укрпромводчермет»; вода подаётся уже очищенной и поступает в резервуары чистой воды, где при необходимости подвергается дохлорированию.
- на 15% из местных подземных источников – эта вода имеет гораздо лучшее качество, чем поверхностная пресная (речная) вода; она сразу поступает в резервуары чистой воды, где проходит обеззараживание хлором;
- на 5% из реки Северский Донец – речная вода проходит полный цикл очистки и обеззараживания на фильтровальной станции.

Контролируются следующие параметры воды: мутность, цветность, показатель рН, концентрация ионов аммония, нитриты, нитраты, хлориды, сульфаты, жесткость, сухой остаток, железо, фториды, медь, мышьяк, марганец, цинк, свинец.

Подготовку питьевой воды для Донецкой области осуществляют несколько фильтровальных станций ГПП «Укрпромводчермет». Одной из крупнейших является донецкая фильтровальная станция (ДФС).

Природная пресная вода поступает на ДФС из канала «Северский Донец-Донбасс» по двум трубопроводам:

а) $d=1400$ мм – из Макеевской резервной насосной станции (МРНС);

б) $d=1200$ мм – по Южно-Донбасскому водоводу (ЮДВ).

Суточное потребление воды ДФС (среднее) составляет 215103 м³/сут. Непосредственно на станции осуществляется переход подачи воды на два трубопровода диаметром $d=1000$ мм каждый, по которым поступающая природная вода подается в «Здание реагентного хозяйства» (см. рис. 1)

Располагающиеся здесь три накопительные емкости (в настоящее время две – рабочие и одна резервная) выполняют функцию смесителя поступающей воды. В эти же емкости осуществляется заправка технологических реагентов (хлора, коагулянтов и флокулянтов,...), обеспечивающих предварительное обеззараживание воды и отделение взвешенных веществ. Расход технологических реагентов контролируется и регулируется по концентрации хлора и мутности воды, откачиваемой из емкостей «Здания реагентного хозяйства». Контроль мутности откачиваемой воды осуществляется непрерывно по остаточному уровню концентрации взвешенных веществ с помощью мутномера. Содержание хлора контролируется 3 раза в сутки: в 5 часов утра, в 10 часов дня и в 19 часов вечером.

Предварительно очищенная и обеззараженная вода поступает далее в горизонтальные отстойники, где происходит окончательное осаждение оставшихся взвешенных веществ и результатов взаимодействия примесей природной воды с технологическими реагентами. Доза обрабатываемой воды находится в отстойниках примерно 7 час. После отстойников вода прокачивается через щелевые механические фильтры и поступает в резервуары чистой воды (РЧВ №1 и РЧВ №2 на рис.1).

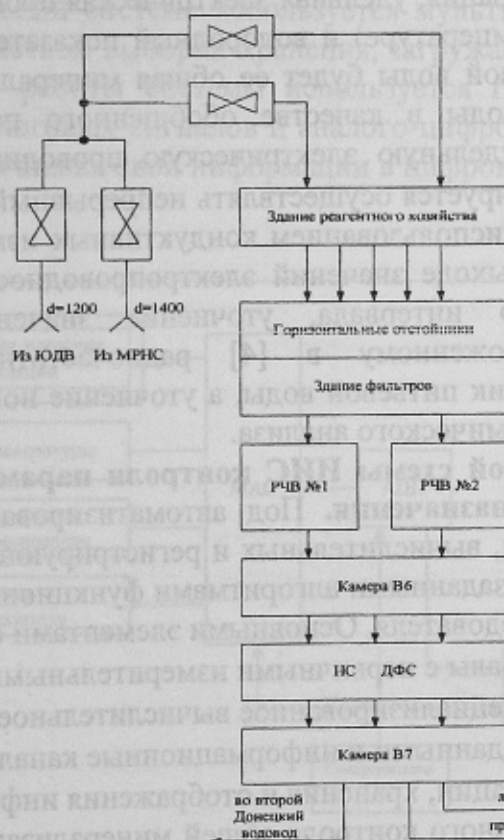


Рис. 1 – Упрощенная структура ДФС

Методология применения ИИС в процессе контроля качества природной пресной воды. Природная пресная вода, поступающая на фильтровальные станции и станции подготовки воды, представляет собой многокомпонентную систему. Она состоит из чистой воды и большого количества ингредиентов, обусловленных как естественными природными процессами, так и антропогенным воздействием. Вследствие антропогенного загрязнения природные пресные воды характеризуются, в первую очередь, повышенным уровнем общей

минерализации. Предлагается использовать в качестве экспресс-методов оценки общей минерализации природных вод методы, подобные используемым в гидрофизике для описания термодинамического состояния морской воды [1]. Учитывая, что природные воды являются сложной смесью электролитов, состав и комбинации солевых компонентов которых могут существенно изменяться в значительно более широких пределах, чем у морской воды, использование известных алгоритмов в гидрофизических исследованиях [2] для оценки общей минерализации природных вод оказывается невозможным.

Учитывая широкий спектр загрязнений природных пресных вод, для оценки их качества предложено использовать ограниченное количество обобщенных параметров состояния и вести непрерывный текущий контроль значений параметров посредством разрабатываемой ИИС. Обобщенные параметры должны давать интегральную оценку состояния природной пресной воды, как объекта исследований, и отражать изменчивость состояний под действием различных дестабилизирующих факторов. В стационарных условиях водоснабжения значения этих параметров будут лежать в границах некоторого доверительного интервала, ширина которого может быть определена на основе сезонных вариаций параметров. Повышение концентрации антропогенных ингредиентов или изменение их состава приведет к изменению значений обобщенных параметров состояния, что будет свидетельствовать о необходимости применения дополнительных тест-методов оперативного контроля для уточнения состава и концентрации загрязнителей и принятия решений по дальнейшим способам очистки воды.

Для экспресс-контроля качества питьевой воды предложено использовать следующие параметры: общая минерализация, удельная электрическая проводимость воды (приведенная к некоторой постоянной температуре) и водородный показатель. Очевидно, что основным параметром качества питьевой воды будет ее общая минерализация. Для контроля общей минерализации питьевой воды в качестве обобщенного параметра состояния в ИИС предложено использовать удельную электрическую проводимость воды, приведенную к температуре $T = 20^{\circ}\text{C}$. Планируется осуществлять непрерывный текущий контроль значений электропроводности воды с использованием кондуктивных измерителей УЭП [3]. В случае нештатных ситуаций при выходе значений электропроводности воды за пределы границ некоторого доверительного интервала, уточнение значения общей минерализации осуществляется по предложенному в [4] радиочастотному методу с помощью радиочастотных характеристик питьевой воды, а уточнение ионного состава примесей и их концентрации – методами химического анализа.

Разработка структурной схемы ИИС контроля параметров качества природной пресной воды питьевого назначения. Под автоматизированной ИИС подразумевается совокупность измерительных, вычислительных и регистрирующих средств, объединенных в общую структурную схему с заданными алгоритмами функционирования и работающую под управлением оператора-исследователя. Основными элементами системы являются:

- измерительные каналы с первичными измерительными преобразователями;
- микро-ЭВМ или специализированное вычислительное устройство;
- устройства обмена данными и информационные каналы связи;
- устройства регистрации, хранения и отображения информации.

Известны ИИС оперативного контроля общей минерализации пресной воды на основе текущих значений электропроводности и температуры. Достоверность контроля в них невысока, и возможность определения вариаций минерализации, обусловленных, в основном, антропогенными воздействиями, ограничена. Предложенный радиочастотный метод [4] и разработанная на его основе методика позволяют повысить точность и достоверность получаемых результатов контроля. С этой целью в состав ИИС, помимо измерительных каналов электропроводности, температуры и рН, вводится подсистема

уточнения значения общей минерализации пресной воды по измеренному значению ее радиочастотных характеристик.

Структура информационно-измерительной системы контроля параметров качества воды приведена на рис. 2.

В структуре разрабатываемой ИИС контроля параметров качества воды можно выделить несколько подсистем:

- подсистема сбора и измерения аналоговой информации;
- подсистема преобразования аналоговой информации в цифровой код;
- подсистема вычисления и индикации;
- подсистема уточнения значения общей минерализации;
- подсистема управления (удаленный контроль).

Подсистема сбора и измерения аналоговой информации осуществляет измерение физических параметров с помощью соответствующих измерительных каналов, преобразование их в электрический сигнал (напряжение) и последующее усиление этого сигнала для приведения его к входному формату АЦП.

В связи с тем, что аналого-цифровые преобразователи сравнительно дороги, то более экономичным является применение одного быстродействующего преобразователя для кодирования нескольких аналоговых сигналов. Необходимым условием для этого является приведение всех сигналов в одну и ту же область величины сигнала. В этом случае различные сигналы вводятся в АЦП последовательно. Для этой цели в разрабатываемой информационно-измерительной системе используется мультиплексор аналоговых сигналов (МАС – см. рис. 2) с устройством выборки-хранения, загружающий только один канал входа АЦП. Для синхронизации работы системы используется генератор тактовых импульсов (ГТИ). Мультиплексор аналоговых сигналов и аналого-цифровой преобразователь образуют подсистему преобразования аналоговой информации в цифровой код.

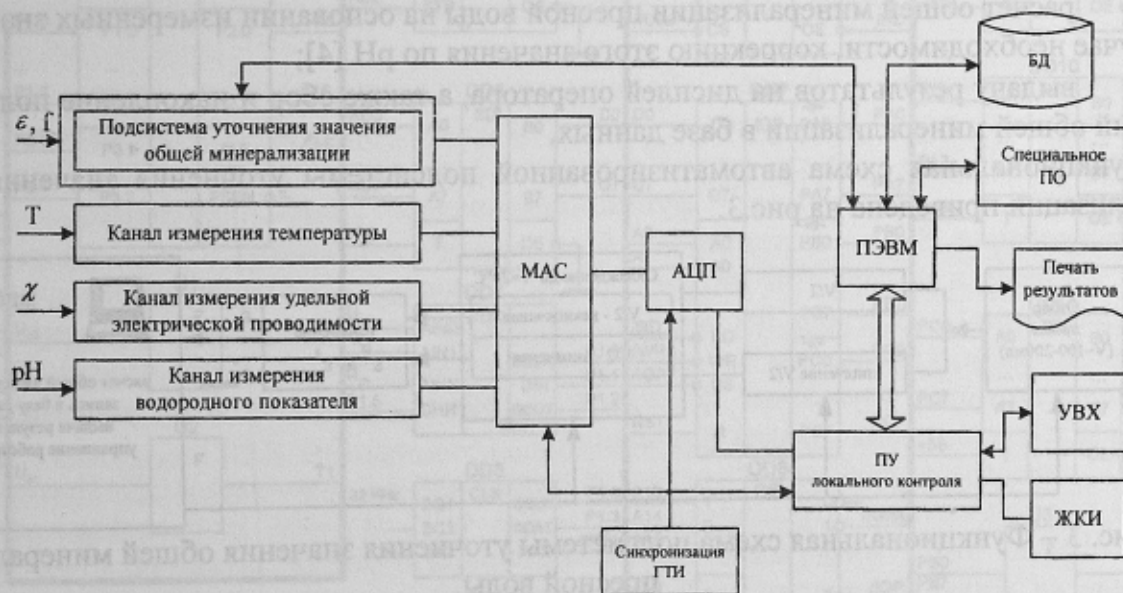


Рис. 2 – Структурная схема ИИС контроля параметров качества питьевой воды

После преобразования сигнала в цифровой код, происходит его ввод в процессорное устройство (ПУ) локального контроля. После получения всех необходимых сигналов вычисляется значение общей минерализации, откорректированное, при необходимости, с учетом температуры и pH.

Нужные коэффициенты формул для вычисления общей минерализации, температурной коррекции и коррекции по pH находятся в системной базе данных (БД), откуда по

соответствующему сигналу происходит их считывание и запоминание в устройстве выборки-хранения (УВХ).

Измеренные и вычисленные значения параметров качества питьевой воды далее отображаются на жидкокристаллическом индикаторе (ЖКИ).

Процессорное устройство локального контроля, устройство выборки-хранения и жидкокристаллический индикатор образуют подсистему вычисления и индикации.

Подсистема управления осуществляет управление и синхронизацию работы всей ИИС. По ее управляющим сигналам происходит запись измеренных значений соответствующих параметров в базу данных, считывание и передача необходимой информации из базы данных в процессорное устройство локального контроля, вывод данных на печать, управление коррекцией и т.д.

При выявлении системой текущего контроля изменения электропроводности, приведенной к некоторой постоянной температуре, например, к 20°C , подсистема управления запускает подсистему уточнения значения общей минерализации питьевой воды по измеренному значению кажущейся диэлектрической проницаемости.

Время, необходимое для проведения одного цикла измерений (т.е. для работы подсистемы уточнения общей минерализации), определяется временем кипячения части пробы и охлаждения ее до требуемой температуры. Это время составляет порядка 5-7 мин.

Подсистема уточнения общей минерализации питьевой воды осуществляет в реальном времени экспресс-контроль общей минерализации питьевой воды и выдает соответствующие сообщения в случае превышения ее допустимых значений. Она обеспечивает:

- отбор пробы пресной воды (~100-200 мл), и ее деление на две равные части;
- кипячение одной части пробы в течение 3-5 мин;
- охлаждение обеих частей пробы до одинаковой температуры $T=(21\pm 2)^{\circ}\text{C}$;
- измерение для каждой пробы значения кажущейся диэлектрической проницаемости ϵ^* с помощью соответствующего измерительного канала;
- расчет общей минерализации пресной воды на основании измеренных значений ϵ^* и, в случае необходимости, коррекцию этого значения по рН [4];
- выдачу результатов на дисплей оператора, а также сбор и накопление получаемых значений общей минерализации в базе данных.

Функциональная схема автоматизированной подсистемы уточнения значения общей минерализации приведена на рис.3.

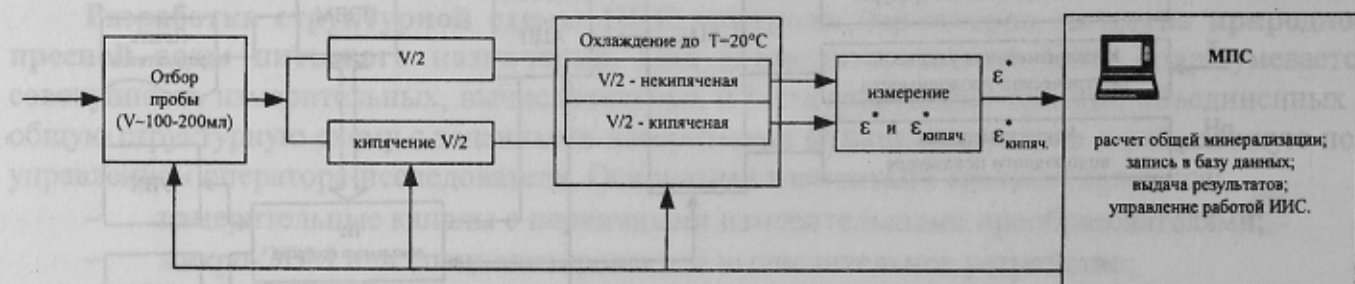


Рис. 3 – Функциональная схема подсистемы уточнения значения общей минерализации пресной воды

Описание измерительного канала радиочастотных характеристик (резонансной частоты ячейки и кажущейся диэлектрической проницаемости) приведено в [5].

Функционально в данной подсистеме можно выделить три модуля: информационно-измерительный модуль (ИИМ); модуль передачи данных (МПД); информационно-управляющий модуль (ИУМ).

Информационно-измерительный модуль представляет собой комплекс технических и программных средств, предназначенных для сбора и первичной обработки измерительных данных. Модуль передачи данных обеспечивает передачу информации внутри подсистемы, в

частности, между ИУМ и ИИМ. Информационно-управляющий модуль представляет собой комплекс технических и программных средств, обеспечивающих организацию процесса сбора, обработки и распределения данных в подсистеме и осуществление управления работой всеми структурными элементами подсистемы.

Функционально ИИС контроля параметров качества воды разработана на базе классической трехшинной схемы (шина данных, шина адреса и шина управления) построения микропроцессорной системы [6].

Блок сбора данных о качестве воды и расчета необходимых косвенных характеристик выполняет следующие действия: ввод данных от датчиков; расчет значения общей минерализации; корректировка рассчитанного значения с учетом температуры и рН, в случае необходимости; отображение данных по ходу процесса контроля качества воды – текущие значения электропроводности, минерализации, температуры, рН и т.д.; выполнение команд оператора, заданных с локальной клавиатуры; обмен данными и командами с компьютером блока удаленного контроля.

– Для выполнения указанных действий в блоке сбора данных и расчета косвенных характеристик используются следующие узлы: ядро микропроцессорного вычислительного модуля; ввод аналоговых (при необходимости – дискретных) сигналов от датчиков; узел связи с клавиатурой и ЖКИ дисплеем; узел связи с компьютером блока удаленного контроля (подсистемы управления).

Функциональная схема блока сбора данных и расчета косвенных характеристик приведена на рис. 4.

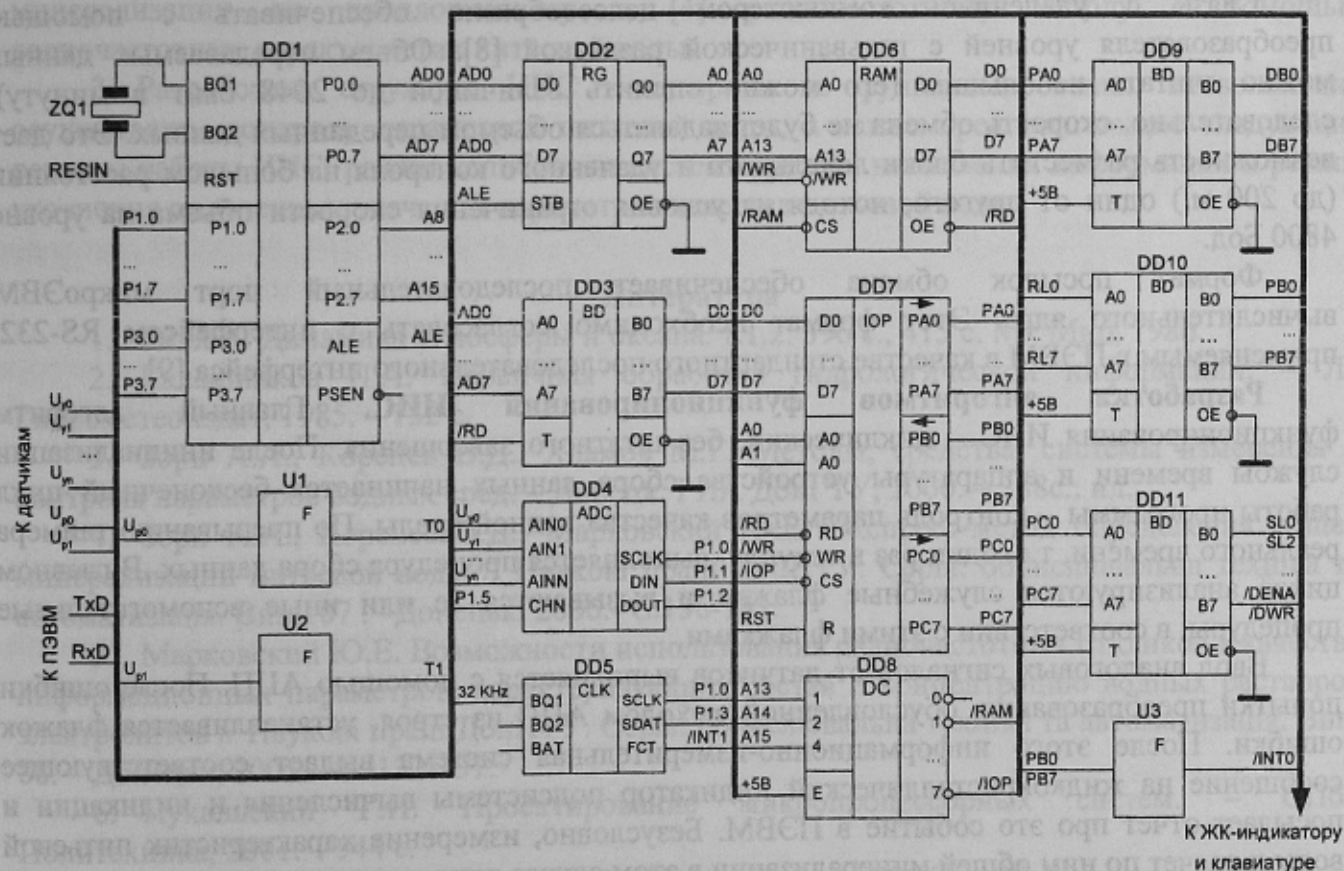


Рис. 4 – Функциональная схема блока сбора данных и расчета косвенных характеристик.

Вся работа блока управляется и организовывается ядром микропроцессорного узла, которое, в свою очередь, создано на базе однокристалльной микроЭВМ AT89C55 [7]. Для сохранения накопленных данных применена микросхема статического параллельного ОЗУ

объемом 8 килобайт. Для увеличения быстродействия микроЭВМ применена модель с частотой тактового генератора 24 МГц (следовательно, время машинного цикла процессора составляет 0,5 мкс.). Для привязки системы к реальному времени используются часы-календарь, которые генерируют запрос на прерывание каждые 1000 мс (т.е., ежесекундно).

Ввод аналоговых сигналов осуществляется с помощью мультиплексора аналоговых сигналов и АЦП. Для обеспечения возможности развития системы предусмотрено по два дополнительных канала ввода аналоговых и дискретных сигналов.

Данные, собранные устройством локального контроля передаются в ПЭВМ по последовательному каналу связи.

Функциональные возможности блока удаленного контроля обуславливаются только разработанным программным обеспечением. Поскольку связь ПЭВМ с устройством сбора данных выполняется с помощью стандартного последовательного порта, то можно применять какой угодно компьютер без ограничений – от устаревшей модели на базе процессора Pentium I до современных моделей на процессорах Pentium IV и их аналогах. В качестве ПЭВМ удаленного контроля целесообразно использовать компьютер на базе процессора Pentium III, так как, хотя модель и является устаревшей на сегодняшний день, ее характеристик вполне достаточно для организации системы удаленного контроля (подсистемы управления).

Специальное программное обеспечение устройства удаленного контроля в таком случае можно разрабатывать под какую угодно операционную систему – от MS DOS до Windows XP.

Связь с удаленным компьютером целесообразно обеспечивать с помощью преобразователя уровней с гальванической развязкой [8]. Объем передаваемых данных можно считать небольшим (его можно оценить величиной до 2048 байт в минуту), следовательно, скорость обмена не будет задаваться объемом переданных данных. Это дает возможность разместить блоки локального и удаленного контроля на большом расстоянии (до 200 м.) один от другого, исходя из условия ограничения скорости объема на уровне 4800 Бод.

Формат посылок обмена обеспечивает последовательный порт микроЭВМ вычислительного ядра. Этот формат необходимо согласовать с интерфейсом RS-232, применяемым в ПЭВМ в качестве стандартного последовательного интерфейса [9].

Разработка алгоритмов функционирования ИИС. Главный алгоритм функционирования ИИС – циклический, без штатного завершения. После инициализации службы времени и аппаратуры устройства сбора данных начинается бесконечный цикл работы программы – контроль параметров качества водной среды. По прерыванию таймера реального времени, т.е. один раз в секунду, выполняется процедура сбора данных. В главном цикле анализируются служебные флажки и вызываются те или иные вспомогательные процедуры, в соответствии с этими флажками.

Ввод аналоговых сигналов от датчиков выполняется с помощью АЦП. После ошибки попытки преобразования, обусловленной выходом АЦП из строя, устанавливается флажок ошибки. После этого информационно-измерительная система выдает соответствующее сообщение на жидкокристаллический индикатор подсистемы вычисления и индикации и посылает отчет про это событие в ПЭВМ. Безусловно, измерение характеристик питьевой воды и расчет по ним общей минерализации в этом случае приостанавливаются.

После ввода измеренных параметров качества в подсистему вычисления и индикации и расчета косвенных характеристик результаты обновляются на экране ЖК-дисплея и передаются в ПЭВМ.

Переданные данные оформляются в пакет, для которого рассчитывается контрольная сумма. Процедура обеспечивает помехозащищенную передачу данных за счет использования контрольной суммы пакета данных и получения подтверждения приема от ПЭВМ. Если

подтверждение приема данных отсутствует, то передача текущего пакета данных повторяется. Количество таких повторений должно быть ограничено, чтобы не привести к прекращению функционирования системы (так называемому «зависанию»). Рекомендуются ограничить количество повторных передач (т.н. ретрейнов) десятью-пятнадцатью попытками [10]. Если подтверждение все-таки не получено, то система сбора данных должна разорвать связь с ПЭВМ подсистемы управления и перейти в режим автономного локального контроля.

Во время функционирования информационно-измерительной системы контроля параметров качества воды необходимо предоставить оператору возможность изменения параметров ее работы с помощью клавиатуры, т.е. нажатие на функциональные (командные) клавиши должно приводить к формированию запроса на прерывание. Установленные флажки командных клавиш изменяют поведение программы сбора данных. Так, например, для ввода числовых параметров команды необходимо установить флажок обслуживания клавиатуры, что, в свою очередь, приводит к запуску процедуры ввода с клавиатуры без использования прерываний.

Выводы:

1. Обосновано применение общей минерализации и удельной электропроводности в качестве обобщенных параметров состояния питьевой воды, использующихся для оценки ее качества.

2. Для контроля качества питьевой воды предложено осуществлять непрерывный текущий контроль значений ее электропроводности и, в случае выхода этих значений за границы некоторого допустимого интервала, расчет и уточнение значения общей минерализации по предложенному в [4] радиочастотному методу с помощью радиочастотных характеристик питьевой воды.

3. Разработана структура ИИС и алгоритм ее функционирования, позволяющие осуществлять контроль параметров питьевой воды, а также предполагающие следующие режимы работы ИИС: режим калибровки системы; режим накопления информации и режим уточнения полученных значений параметров качества питьевой воды.

Литература

1. Гилл А. Динамика атмосферы и океана. т.1,2. 396 с., 415 с. М.: Мир, 1986.
2. Калашников П.А. Первичная обработка гидрологической информации. – Л.: Гидрометеоздат, 1985. – 152 с.
3. Зори А.А., Коренев В.Д., Хламов М.Г. Методы, средства, системы измерения и контроля параметров водных сред. – Донецк: РИА ДонНТУ, 2000. – 388с.: ил.
4. Зори А.А., Коренев В.Д., Марковский Ю.Е. Экспресс-метод определения общей минерализации питьевой воды // Наукові праці ДонНТУ. Серія: обчислювальна техніка та автоматизація. Вип.107. –Донецьк, 2006.- С.136-143.
5. Марковский Ю.Е. Возможности использования радиочастотных откликов в качестве информационных параметров, характеризующих состав и концентрацию водных растворов электролитов // Наукові праці ДонНТУ. Серія: обчислювальна техніка та автоматизація. Вип. 88. – Донецьк, 2005. - С. 132-137.
6. Пухальский Г.И. Проектирование микропроцессорных систем. – СПб.: Политехника, 2001. – 544 с.
7. Atmel 8-bit Microcontroller with 20K Bytes Flash AT89C55. 192p.
8. Новиков Ю.В., Калашников О.А., Гуляев С.Э. Разработка устройств сопряжения. – М.: Эком, 1997. – 224 с.
9. Гук М.Ю. Аппаратные интерфейсы ПК. Энциклопедия. – СПб.: Питер, 2002. – 528 с.
10. Корнеев В.В., Киселев А.В. Современные микропроцессоры. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 448 с.