

АППАРАТНЫЙ ГИДРОМОНИТОРИНГ

СКОРО МЫ СМОЖЕМ ПИТЬ И ВОДУ!

И. Олихов, Е. Прокофьева,
С. Прокофьева, Л. Михайлова



с достаточно высоким быстродействием, способных вписаться в современные информационные системы). Следует отметить, что все санитарно-гигиенические требования к качеству питьевой воды разработаны в тесном сотрудничестве со специализированными международными организациями в рамках согласованной политики по стандартизации, метрологии и сертификации. Остановимся на некоторых проблемах, возникающих при построении современной системы гидромониторинга.

СТАНДАРТИЗАЦИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОДЫ

Действующая сегодня в России система контроля нормируемых химических и микробиологических показателей основана на дифференцированном определении их концентрации и сопоставлении ее с нормируемыми значениями [1]. Кроме общего физико-химического контроля, направленного на определение жесткости воды, сухого остатка, а также наиболее распространенных в воде компонентов как естественного происхождения, так и внесенных в процессе водоподготовки (алюминий, мышьяк, нитраты, нитриты, полиакриламид, свинец, фтор, железо, марганец, медь, полифосфаты, сульфаты, хлориды, цинк), новые нормативные документы предусматривают ряд специальных операций контроля. Это – вирусологический, паразитологический, токсикологический (в том числе определение содержания веществ, обладающих канцерогенным и мутагенным действием при весьма низких концентрациях – пестицидов, полициклических ароматических углеводородов, летучих галогенорганических соединений, ртути, сурьмы, цианидов и др.), радиационный контроль (определение суммарной объемной активности альфа- и бета-частиц и, при необходимости, радионуклеидного состава загрязнений). Таким образом, необходимо разработать методики аттестации по огромному числу показателей.

Человечество синтезировало свыше 7 млн. химических веществ, 70 тыс. из которых применяются в повседневной жизни. По данным ВОЗ, вода сейчас содержит 13 тысяч потенциально токсичных веществ и каждый год добавляется от 500 до 1000 новых. Нормировано же только около тысячи вредных веществ для водных объектов хозяйственно-бытового и культурно-бытового использования и около 700 веществ для рыбо-хозяйственных водоемов. При этом существующие методы анализа могут выявить ПДК лишь 10% общего количества нормированных веществ. К тому же, процессы эти сложны и длительны. Чтобы определить все показатели, нужно иметь соответствующее техническое оснащение, научный и технический потенциал, средства на приобретение реактивов. А это далеко не каждой лаборатории под силу. Стоимость анализа на опре-

Одно из последствий техногенного воздействия в России – резкое ухудшение положения с питьевой водой, особенно в промышленно развитых регионах страны. Причины очевидны – развитие промышленности при неразвитой системе очистных сооружений, химизация сельского хозяйства, бесконтрольное пользование природными водными ресурсами без достоверного контроля и глубокой оценки факторов, изменяющих их состояние, и без прогнозирования сложных природных явлений в условиях активизации деятельности человека. Чувство ответственности за последствия научно-технического прогресса, присущее представителям науки и техники, выразилось в осознании необходимости построения системы мониторинга, позволяющей измерять, оценивать и прогнозировать интенсивность факторов, влияющих на любой параметр гидросферы. Эта идея была поддержана правительством, принявшим федеральную целевую программу "Обеспечение населения России питьевой водой". Эта программа положена в основу политики Министерства науки РФ наряду с традиционными направлениями борьбы с загрязнениями водной среды (разработка технологий очистки локальных стоков, коагулянтов и т.п.).

Реализация системы гидромониторинга проводится в несколько этапов. Основные из них: стандартизация показателей качества воды (разработка нормативной документации); совершенствование метрологических средств (разработка методик контроля и обеспечение единства измерений в физических величинах, характеризующих параметры качества природной, питьевой, сточной воды); аппаратная поддержка мониторинга (разработка стандартизированных, надежных, долговечных контрольно-измерительных устройств



деление содержания высокотоксичных соединений с низкими значениями ПДК может составлять сотни и тысячи долларов, причем такой анализ необходимо проводить в нескольких пунктах и с определенной периодичностью. Таким образом, следить за качеством воды с каждым годом все сложнее.

Правда, на практике качество воды по химическому составу можно оценивать на основе обобщенных широко применяемых за рубежом показателей, таких как биохимическое или химическое потребление кислорода, содержание общего или растворимого органического углерода (для определения суммарного количества органических веществ, потребляющих кислород), содержание адсорбируемых или экстрагируемых органических галогенов (для выявления суммарного содержания галогеносодержащих органических соединений, представляющих серьезную опасность для окружающей среды) [2]. Внедрение обобщенных показателей в практику позволило бы снизить число определяемых методами аналитической химии структурных компонентов, и в ряде случаев ограничиться определением следов тяжелых металлов такими аппаратными методами, как атомно-абсорбционная или атомно-эмиссионная спектроскопия.

Но даже если полный перечень вредных веществ и загрязнений определен, и количество каждого из них ниже ПДК, гарантировать высокое качество воды достаточно сложно. Связано это с групповым воздействием на организм содержащихся в воде веществ и химических элементов. Их взаимовлияние может настолько трансформировать воздействие на организм человека, что ПДК на отдельное вещество или химический элемент не будет отражать их истинную токсичность.

Кроме того, в действующих документах как не было, так и нет нормативов на состав питьевой воды (солевой, микроэлементный, микробиологический), характеризующий ее биологическую активность. Абсолютно чистая стерилизованная вода утрачивает биологическую активность и не является "питьевой". Поэтому, в частности, желательно проверять воду, прошедшую стадию очистки в очистителях, предлагаемых для широкого пользования. Биологическая активность воды может меняться не только при изменении солевого состава и содержания микроэлементов, но и под воздействием любых физических или химических обработок (магнитным полем, УФ-облучением или ускоренными электронами, озонированием или хлорированием) [3-6].

Перечисленные проблемы свидетельствуют о необходимости определять качество питьевой воды не только по структурному составу, но и по интегральной функциональной характеристике. Такой функциональный подход можно использовать как метод оперативного экспресс-анализа, что весьма существенно для системы экомониторинга (неоперативность действующей сети наблюдений за экосистемой – один из основных ее недостатков).

АППАРАТНОЕ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ ГИДРОМОНИТОРИНГА

Сложность проблемы разработки и внедрения эффективных метрологически аттестованных методик контроля качества воды обусловлена сложностью инструментального исследования индивидуальных составляющих в многокомпонентной биологической активной среде, особенно в сточных водах, значительным отличием условий эксперимента на природе и в лабораторных условиях, необходимостью сопоставления результатов структурного и функционального показателей качества питьевой воды. При этом для гидробиологического мониторинга необходимы экспрессные методы исследований.

МЕТОДИКИ КОНТРОЛЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Существующая система обеспечения единства измерений физических параметров жидких сред на современной промышленной метрологически аттестованной аппаратуре разработана достаточно хорошо только для традиционных химических показателей. По бактериологическим показателям измерения проводятся стандартизированными "лабораторными" методами, характеризующимися исключительной надежностью. Но эти методы анализа длительны и трудоемки (результаты можно получить только через 24-48 ч), их нельзя реализовать в системе автоматизированного контроля и трудно использовать в полевых условиях.

Из методов исследования интегральных характеристик среды наиболее доступны биотестирование и анализ на ферментативную активность. Разрабатываемая аппаратура этого вида представляет макетные либо экспериментальные образцы, аттестация которых производится теоретически-экспериментальными методиками самим производителем, а иногда и с помощью математических моделей (в этом случае о метрологической аттестации говорить вообще не приходится). Тестирование на ферментативную активность основано на определении степени подавления ферментативных реакций токсичным веществом.

Биотестирование на токсичность проводят на совокупности водных организмов, позволяющей оценивать действие того или иного химического компонента на сложный биоценоз. В качестве оценочного критерия функционального качества воды могут быть выбраны выживаемость, скорость размножения, жизненная активность, способность организмов удерживаться на плаву. При метрологической аттестации этих методик должны быть стандартизированы условия проведения опыта (температура среды, освещенность, кислотность, состав питательного раствора, количество живых организмов и т.д.). Самая сложная позиция – определение количества организмов в воде, особенно микроорганизмов. Воспроизводимость биологических тестов не сопоставима с воспроизводимостью физических или химических измерений, поскольку в рамках эксперимента происходят слишком сложные биологические процессы.

АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОНИТОРИНГА

Наиболее сложная задача мониторинга экспрессными методами – измерение бактериального и вирусного состава водной среды. Из современных инструментальных средств можно отметить лазерные системы проведения микробиологических исследований (лазерной фотоакустической спектроскопии, КР-спектроскопии, микромасс-спектрометрии биоорганических молекул и биообъектов, релеевской спектроскопии биологических объектов), биосенсоры, в том числе для экспрессных фермент-субстратных тест-систем [7], устройства контроля диэлектрической проницаемости (волноводные, оптические, калориметрические, пандеромоторные, измерения фазового сдвига).

Многие вопросы аппаратного обеспечения гидромониторинга могут быть решены с помощью сенсоров – чувствительных элементов устройств экспресс-анализа, которые можно устанавливать непосредственно в местах загрязнения, а показания считывать дистанционно в автоматическом режиме работы аппаратуры [8]. Для определения загрязнений природных и сточных вод наиболее распространены электромеханические преобразователи (амперометрические, потенциометрические, ионоселективные, на основе полевых транзисторов). Так, амперометрические сенсоры применяют для определения содержания в сточных водах CO_2 , аммиака, этанола, глутаминовой кислоты.

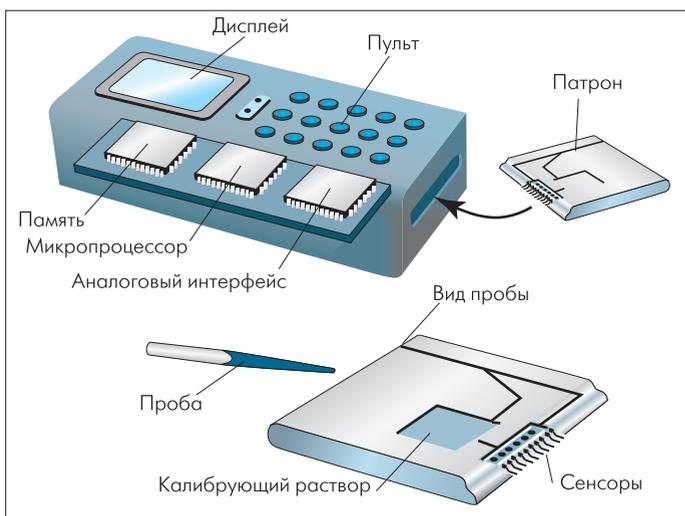


Рис. 1. Портативный анализатор на основе биосенсоров

Биосенсоры просты в исполнении, доступны, обладают широкими возможностями распознавания индивидуальных компонентов, в том числе и различных бактериальных форм, при массовом производстве дешевы. Ферментативные реакции биохимической природы по своей скорости на 9-12 порядков превосходят аналогичные химические реакции. Их проведение не требует жестких агрессивных условий (высокой температуры, сильной щелочности или кислотности). Фермент в ходе реакции не расходуется, действуя лишь как высокоспецифичный катализатор, и может быть использован многократно и в малых количествах. Отличительная особенность ферментных сенсоров и иммуносенсоров – исключительная селективность при определении отдельных органических веществ, в том числе пестицидов.

На основе биосенсоров могут быть созданы многокомпонентные анализаторы, способные распознавать одновременно несколько биологических компонентов. Пример анализатора на биосенсорах, предназначенного для медицинских исследований (США), приведен на рис. 1 [9]. Этот портативный экспресс-анализатор с программным управлением позволяет получить результаты анализа крови по шести параметрам (по числу применяемых биосенсоров) за 2 мин. Используемый в приборе патрон с биосенсорами и калибровочным образцом – одноразовый. Такая конструкция патрона при разработке соответствующих сенсоров позволяет проводить и другие тесты, в том числе и для определения содержания биоорганизмов в воде. Результаты анализа выводятся на встроенный дисплей и хранятся в памяти устройства.

С созданием многокомпонентных датчиков-анализаторов появляется возможность построения автоматизированной информационно-измерительной системы на базе низкоскоростной компьютерной сети. Система может предусмотреть передачу информации по проводам или с помощью радио- и телеметрических передающих устройств, а сами анализаторы могут иметь звуковую или световую сигнализацию. При аварии сенсоры способны включить автоматическую систему немедленного реагирования и сигнализировать соответствующим службам о появлении тех или иных загрязняющих веществ.

Пока отсутствие таких биосенсоров в действующих системах контроля вынуждает измерять параметры среды в отдельных точках

на дорогостоящем оборудовании, а затем с помощью математического моделирования выводить информацию об уровне загрязненности в остальных географических точках аналитическим путем [10].

Основные направления развития сенсоров – дальнейшая миниатюризация и снижение стоимости этих устройств за счет применения современных полупроводниковых технологий, выпуска сенсоров с самокалибровкой, создания многоэлементных сенсоров с повышенной чувствительностью и селективностью, организации массового производства.

Широкое применение сенсоры могут найти в экспрессных тест-системах [7]. Принцип их действия заключается в введении исследуемой пробы воды в систему, содержащую выявляемый фермент и его субстрат, с последующей регистрацией изменения оптических свойств тест-системы. Этот процесс в первую очередь – тест на наличие в пробах воды ингибирующих ферменты загрязняющих веществ антропогенного происхождения (органические вещества и тяжелые металлы, поступающие с выносом рек), а также на возникающую в таких условиях неблагоприятную ситуацию, способствующую развитию патогенной микрофлоры. Предназначены тест-системы для контроля функционального состояния и качества различных многокомпонентных природных сред (природных вод, донных отложений, взвесей и др.) [11].

Предварительные опыты по сравнению результатов отклика разработанных в институте океанологии им. П.П. Ширшова тест-систем амилосубтилин-крахмал-5СХ при исследовании воды станции водоподготовки и питьевой воды, прошедшей стадию подготовки перед подачей потребителю, показал перспективность применения таких экспрессных систем для контроля содержания бактерий в воде. Отклик проб питьевой воды, не содержащей микроорганизмов (по данным микробиологического анализа), по абсолютной величине на 72% отличался от отклика проб, взятых на станции водоподготовки (25 клеток на 1 мл воды). Время анализа составляло 30 проб/ч. Отклонение отклика тест-системы в параллельных пробах не превышало 6-16%.

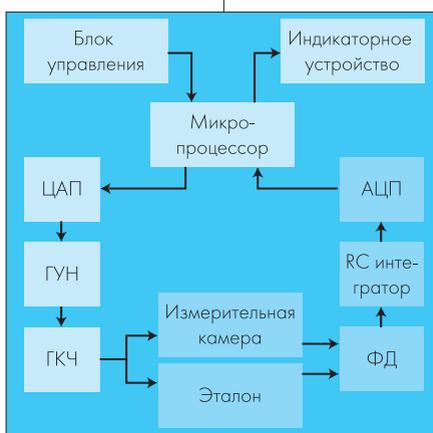


Рис. 2. Блок-схема устройства контроля диэлектрической проницаемости среды

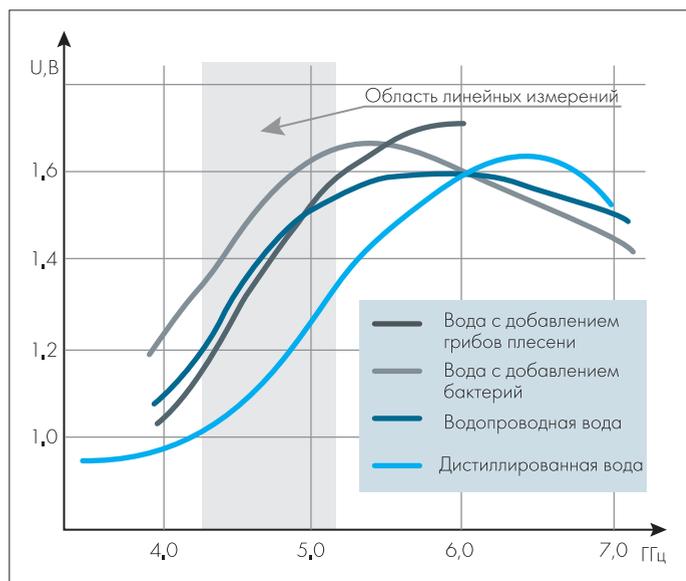


Рис. 3. Зависимость напряжения на выходе фазового детектора от сдвига фаз сигналов

На сегодняшний день одним из самых интересных и перспективных устройств определения концентрации микроорганизмов в биологически активной среде можно считать прибор контроля диэлектрической проницаемости исследуемой среды. В основе его работы лежит принцип сравнения фаз СВЧ-сигналов, прошедших по двум микрополосковым линиям через эталонную и исследуемую среды [12]. В предлагаемом приборе блок управления, генератор, управляемый напряжением (ГУН), и генератор качающей частоты (ГКЧ) формируют СВЧ-сигнал, который затем делится на два равных по амплитуде сигнала, один из которых поступает в измеряемую среду, а второй – в эталонную. Развязка между линиями передачи по электромагнитному полю превышает 60 дБ. С выходов этих линий СВЧ-сигнал попадает на фазовый детектор (ФД), который преобразует сдвиг фазы СВЧ-сигналов в постоянное напряжение (рис.2). При наличии в измеряемой среде микроорганизмов фазовая скорость распространяемого по ней сигнала изменяется. Получаемый в результате сдвиг фазы определяется по напряжению на выходе фазового детектора (рис.3). Работой генератора СВЧ-сигнала, усилением выходного сигнала, сравнением текущего сигнала

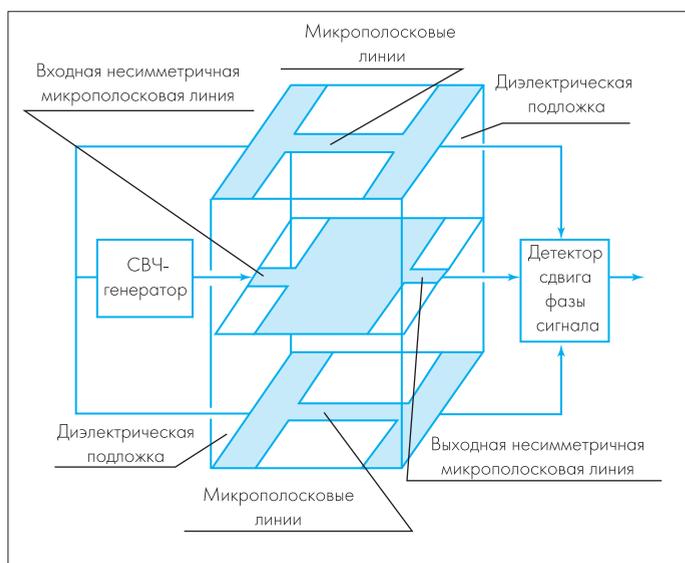


Рис.4. Конструкция и электрическая схема СВЧ-датчика

с результатами предыдущих измерений для исключения случайной погрешности, расчетом диэлектрической проницаемости и выводом результатов измерений на цифровой индикатор управляет микропроцессор системы, что позволяет сократить время анализа.

Устройство контроля содержит две диэлектрические подложки, между которыми соосно и навстречу друг другу расположены входная и выходная микрополосковые линии (рис.4). Генератор СВЧ-сигнала – монолитная ИС. Детектор сдвига фазы реализован по мостовой схеме на транзисторах типа ЗП603. СВЧ-сигнал генератора поступает на несимметричные линии передачи через Т-образное соединение несимметричных и симметричных микрополосковых линий, образованное в области перехода узких проводников в слои металлизации. Через аналогичное соединение сигналы поступают в измеритель фазы, с выхода которого НЧ-сигнал попадает в АЦП. При проведении абсолютных измерений диэлектрической проницаемости внешней среды устройство герметично экранировано со стороны “эталонной” линии передачи. Это позволяет исключить влияние внешних параметров на калибровку каждого измерения.

Точность измерения – $(1-5) \cdot 10^{-4} \%$, время срабатывания – 10 с, пороговый уровень микроорганизмов – 50 клеток на 1 мл воды.



Рис. 5. Внешний вид СВЧ-устройства контроля микроорганизмов, разработанного на фирме "Гамма"

Важное достоинство СВЧ-измерительного устройства – малые габариты (50x20x15мм) и масса (50 г), рис.5. Питание от 12-В аккумулятора. Фазовый метод может применяться для регистрации изменения диэлектрической проницаемости любых сред в диапазоне от дециметровых до миллиметровых длин волн. Этот принцип положен в основу работы устройства контроля микроорганизмов, разработанного фирмой "Гамма".

ЛИТЕРАТУРА

1. Контроль химических и биологических параметров окружающей среды./Под ред. проф. Л.К.Исаева. – Спб.: Эколого-аналитический информационный центр "Союз", 1998. – 896 с.
2. Мерц В. Современные обобщенные показатели при мониторинге природных и сточных вод. – Журнал аналитической химии, т.40, N 6, с.557-566.
3. Подлеская А.И. О взаимодействии металлов между собой и водой в биологических системах. – Экологическая безопасность городов. – Спб., 1993, с.216-217.
4. Полми Э.А. О реальности влияния гелиогеофизических и геохимических факторов на структурные особенности жидкой воды. – Биофизика, 1991, т.36, N4, с.565-568.
5. Кондратюк В.А. Роль микроэлементов в формировании качества питьевой воды. – Гигиена населенных мест. – Киев, 1984, вып.23, с.68-71.
6. Калинин А.И., Оникиенко С.Б., Новосадов А.М., Донченко В.К. Технология получения питьевой воды высокого качества на основе моделирования природных процессов самоочищения. – В кн.: Материалы Международного конгресса "Вода: экология и технология". Т.2, с.402-425.–М., 6-9 сентября 1994 г.
7. Корнеев Г.А. Оценка функционального состояния морской воды Черного моря по уровню гидролитических ферментативных активностей. – Известия АН. Сер. Биологическая, 1993, N6, с. 909-913.
8. Власов Ю.Г. Твердотельные сенсоры для анализа жидких сред. – Российский химический журнал, 1994, т. 38, N 1, с.32-36.
9. Проблемы экологии Москвы/Под ред. д.т.н. Е.И.Пупырева. – М.: Гидрометеиздат, 1992, 198 с.
10. В мире науки, 1991, №10, с.42-49.
11. Корнеева Г.А. и др. – Известия РАН. Сер. Биологическая, 1993, №2, с. 280.
12. Патент № 2109274 РФ. 1994 г. Гвоздев В.И. и др. Устройство для измерения диэлектрических параметров среды.