

УДК 621.317.791

DOI:10.38028/ESI.2022.27.3.008

Цифровая система мониторинга уровня воды открытых водоемов Байкальской природной территории на основе технологии ИИС «КУМИР-РЕСУРС» для объектов энергетики

**Николаев Андрей Андреевич, Фискин Евгений Михайлович,
Фискина Маргарита Михайловна**

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Россия, Иркутск, *Nikolaev-9494@mail.ru*

Аннотация. В статье содержатся сведения о создании бюджетной цифровой системы мониторинга уровня воды открытых водоемов, которая включает измерительные датчики, устройства сбора и передачи данных на сервер для последующей обработки данных. Описаны новый способ и устройство для определения уровня жидкости в открытых водоемах. Предложено решение передачи данных мониторинга по технологии информационно-измерительных систем (ИИС) с использованием радиомодема.

Ключевые слова: информационно-измерительная система, мониторинг уровня воды, радиомодем

Цитирование: Николаев А.А. Цифровая система мониторинга уровня воды открытых водоемов Байкальской природной территории на основе технологии ИИС «КУМИР-РЕСУРС» для объектов энергетики / А.А. Николаев, Е.М. Фискин, М.М. Фискина // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2022. – № 3(27). – С. 84-94. – DOI: 10.38028/ESI.2022.27.3.008.

Введение. В соответствии с нормативно правовыми актами Российской Федерации в рамках организации государственного мониторинга окружающей среды ведутся работы по созданию единой государственной системы экологического мониторинга [1-4]. Параллельно с созданием единой государственной системы экологического мониторинга, подразделениями ИНЦ СО РАН (в частности Лимнологическим институтом) осуществляется деятельность по мониторингу оз. Байкал и прилегающей территории, которая включает: методики формирования долгосрочных прогностических сценариев притока воды в озеро Байкал; методики цифрового мониторинга уровня озера Байкал; другие соответствующие методики и модели [5]. К сожалению, на данный момент постоянный мониторинг наиболее уязвимой прибрежной зоны Байкала проводится на ограниченной территории, и в целом не отвечает современным требованиям, так как для него отсутствует комплексный подход к сбору и обработке информации. Для решения текущих задач необходима цифровая система мониторинга, отвечающая современным требованиям, а именно: снятие и передача данных в цифровом формате; синхронизация телеметрических данных с гидрологических постов; масштабируемость цифровой системы мониторинга. Данная работа посвящена созданию бюджетной цифровой системы мониторинга уровня воды открытых водоемов, которая включает измерительные датчики, устройства сбора и передачи данных, сервер обработки данных.

1. Использование информационно-измерительной системы для мониторинга состояния водных объектов энергетического комплекса региона. Для решения поставленных задач предлагаемая цифровая система мониторинга должна обеспечивать достоверными данными такие объекты энергетического комплекса региона, как Иркутская ГЭС, Братская ГЭС и Богучанская ГЭС.

В настоящее время на оз. Байкал действуют 18 гидрологических постов Иркутского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (УГМС) и 2 поста Забайкальского УГМС, один из которых законсервирован. Наблюдения за уровнем воды проводятся на 17 объектах. Функционирующие гидрологические посты, по которым

рассчитывается средний уровень по всему оз. Байкал, достаточно равномерно расположены по периметру озера (рис. 1).

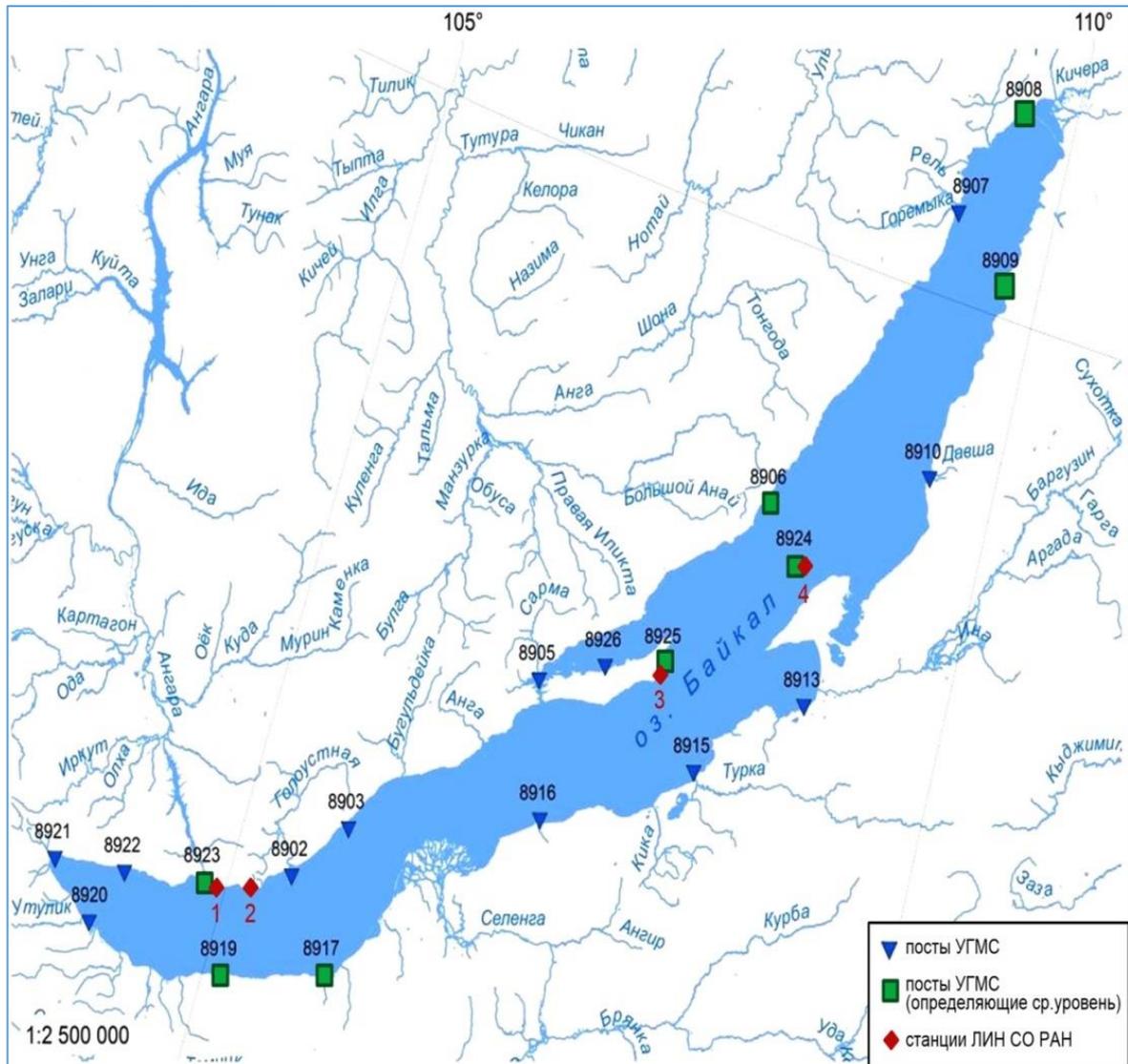


Рис. 1. Схема гидропостов наблюдений уровня режима озера УГМС

Данные измерений автоматическими станциями накапливаются в памяти и передаются на сервер по каналам сотовой связи. Из-за экстремальных погодных условий в отдельные периоды возникают ошибки в передаче данных. Пример показан на рисунке 2. В этой связи требуется постоянная верификация и сортировка накопленных данных по времени, а также согласование с данными других станций.

Предлагаемая ИСЭМ СО РАН методика расчета среднего уровня оз. Байкал по оперативным данным четырех автоматических станций ЛИН СО РАН включает следующие процедуры:

- контроль корректности накопленных данных по уровням для каждой станции за текущие сутки с корректировкой (или удалением) выбросов в данных с использованием оперативной визуализации в секундном разрешении;
- расчет среднeminутных средних показателей для каждого часа суток с определением границ волнения для каждой станции;
- расчет среднечасовых показателей уровня для каждой станции на основе обработки среднeminутных показателей;

- расчет среднесуточных показателей на основе рассчитанных среднечасовых показателей;
- расчет среднего уровня озера (по данным автоматических станций) на основе рассчитанных среднесуточных показателей для каждой станции;
- расчет текущего среднего показателя уровня через выполнение процедуры экспоненциального сглаживания;
- визуализацию динамики изменения среднего уровня с возможной его корректировкой в случае нарушения плавности кривой (отклонение более 1 см).

Все расчеты проводятся с точностью до 1 см, что позволяет формировать более плавную кривую динамики изменения уровня озера. Основным недостатком предлагаемой оценки среднесуточного уровня является малое количество автоматических станций, в настоящее время их всего 4.

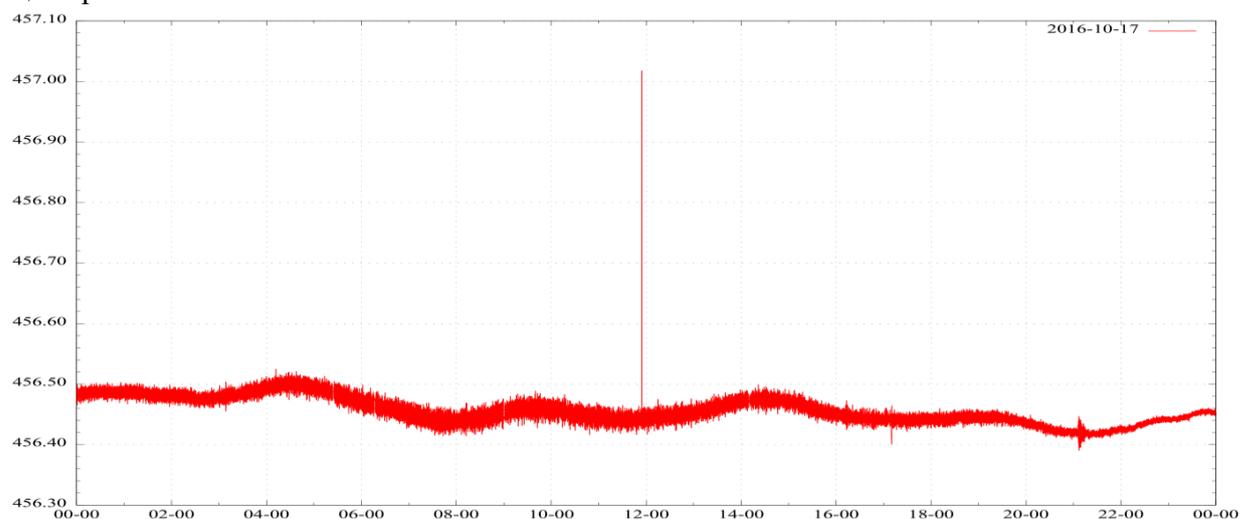


Рис. 2. Пример сбойного показателя: около 12:00 17.10.2016 г. по станции Листвянка

Для повышения надежности расчета показателей среднесуточного уровня озера желательно разместить дополнительные станции во всех пунктах расположения гидропостов УГМС. Это позволит определять не только среднесуточный уровень, но и его территориальное изменение с учетом волнения воды практически по всей прибрежной зоне озера. При введении в эксплуатацию достаточного количества автоматических станций можно будет повысить точность расчета среднесуточного уровня с определением новых весовых коэффициентов учета влияния каждой станции.

Как уже отмечалось ранее, на автоматических станциях данные измерений накапливаются в памяти устройства, а затем передаются на сервер по каналам сотовой связи. Основная проблема при установке таких автоматических станций мониторинга в северных районах озера Байкал заключается в том, что для чтения данных в реальном времени и передачи их на сервер необходима сеть GSM, которая в данных районах отсутствует. Таким образом, цифровая система мониторинга должна обеспечивать связь в подобных районах всей Байкальской природной территории не только по сети GSM, но и по радиоканалу.

На сегодняшний день множество компаний занимаются разработкой подобных систем. Предварительно нами был проведен обзор основных систем автоматизации, среди которых хотелось бы отметить МИЛУР, «Энергомера», SigFOX и ИИС «КУМИР-РЕСУРС». В результате обзора было выяснено, что каждый производитель ориентирован на проприетарное решение задач автоматизации и продвижение именно своих разработок и оборудования. Данное обстоятельство не позволяет создать бюджетную систему

мониторинга и создает дополнительные трудности при интеграции в систему мониторинга уже функционирующих гидрологических постов на озере Байкал.

Исключение составляет ИИС «КУМИР-РЕСУРС». Это мультиресурсная непроприетарная информационно-измерительная система компании ООО НТЦ Кумир с возможностью дистанционного сбора, обработки, хранения и анализа данных измерений с приборов учета электроэнергии, газа, тепла, горячей и холодной воды [6]. В основе ИИС «КУМИР-РЕСУРС» лежит запатентованный ООО НТЦ КУМИР инновационный способ передачи телеметрических данных по открытым сетям IP, когда телеметрические устройства расположены в сегменте локальных частных адресов [7]. Его реализация в создании протокола Кумир-NET позволяет снизить транзакционные издержки при коммутации и передаче данных, в том числе и при использовании стандарта СПОДЭС (DLMS|COSEM) [8-10].

К преимуществам ИИС «Кумир-Ресурс» так же можно отнести:

- стабильное программное обеспечение «КУМИР-net» на базе ОС Linux;
- масштабируемость;
- мультиресурсность;
- быстрое развертывание и автоматическую регистрацию приборов учета в сети;
- исчерпывающий набор аппаратуры собственного производства;
- открытую документацию на систему;
- возможность транспорта данных в различных физических средах (радиоканал 868 МГц, шина CAN, сети GSM(GPRS), Ethernet (пример на рисунке 3).

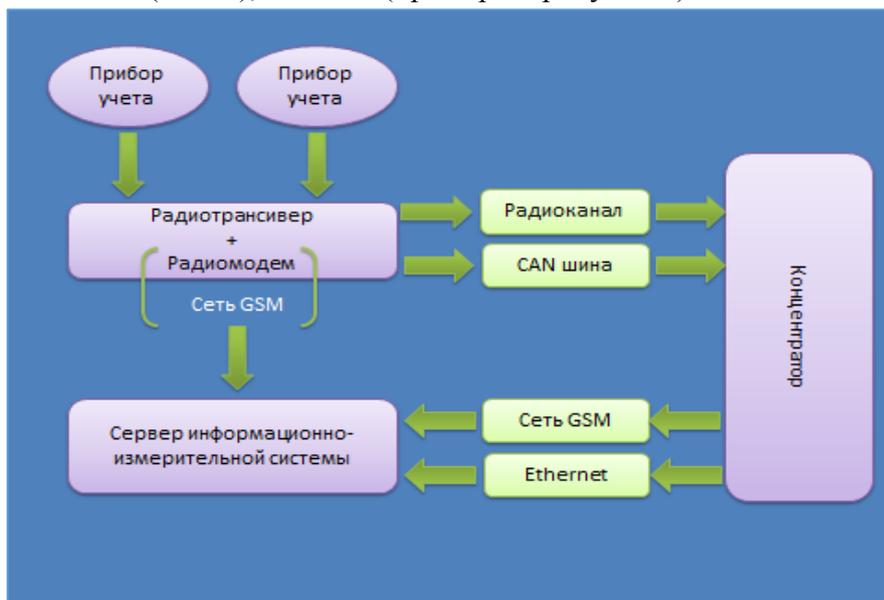


Рис. 3. Блок-схема передачи данных в 3-х средах

Такая гибридная реализация передачи данных с использованием радиоканала и CAN шины успешно работает в многоквартирных домах в сложных городских условиях, где инсталляции на основе чисто радиоканальных решений (LoRaWan, Sigfox, Стриж/Вавиот) затратны и не дают гарантированный результат.

ИИС «Кумир-Ресурс» уже сейчас обеспечивает «полевой» уровень информационно-измерительной системы на аппаратном и на программном уровне [11, 12]. Последняя версия программного обеспечения сервера на стендовых испытаниях показывает скорости коммутации порядка 2 млн. транзакций в секунду при скоростях потока 2,4 Gbit/s. Этого должно хватить на обработку показаний с 50 млн. приборов учета с интервалом в 15 мин.

Еще одним достоинством ИИС «Кумир-Ресурс» является недавно реализованная синхронизация времени на приборе учета (мониторинга) с сервером с точностью до 1 секунды. Это позволит синхронизировать телеметрические данные с приборов мониторинга всей системы на Байкальской природной территории по времени между собой и тем самым повысить достоверность показаний. При этом отпадает необходимость дополнительной установки системы GPS в точку мониторинга.

Таким образом, ИИС «Кумир-Ресурс» максимально подходит для решения поставленных задач и требует незначительных доработок для реализации на ее основе системы мониторинга Байкальской природной территории.

Следующим этапом разработки стало создание радиомодема для передачи телеметрических данных с измерительных станций.

2. Радиомодем для системы мониторинга. Для передачи данных из отдаленных районов озера Байкал было принято решение использовать радиомодем, адаптированный под задачи мониторинга.

Сначала был выполнен обзор уже существующих радиомодемов, в результате которого были рассмотрены радиомодемы систем МИЛУР, Энергомера, SigFOX и др. Радиомодемы данных производителей не имеют собственного элемента питания и не рассчитаны на полноценную работу в автономном режиме. Также у большинства радиомодемов отсутствует встроенная система передачи данных посредством радиоканала. Кроме того, хотелось бы отметить проблемы интеграции сторонних радиомодемов с ИИС «КУМИР-Ресурс».

Таким образом, было принято решение о разработке собственного радиомодема.

Основные технические требования, выдвигаемые к прототипу радиомодема:

- используемая рабочая частота 868МГц, т.к. не требует лицензии на использование;
- максимальная ЭИМ 100мВт [13];
- радиус уверенной связи концентратора с радиомодемами в диапазоне 25-100 км;
- максимальная скорость передачи данных не менее 9600 бит/с;
- опытный образец радиомодема не должен уступать по техническим характеристикам аналогам и стоить не более 10000 р.

За основу был принят радиомодем, разработанный в компании НТЦ Кумир и предназначенный для поквартирного учета данных РМ81. Дальность устойчивой передачи данных в результате полевых испытаний составила 6 км [14] Для использования данного радиомодема в системе мониторинга озера Байкал необходимо увеличить текущую дальность связи до 25-100 км.

Задача по увеличению дальности передачи данных была разбита на следующие этапы:

- увеличение мощности передатчика;
- использование термостабильных компонентов;
- увеличение чувствительности приемника;
- использование одноволновой (направленной) антенны.

Используя новый усилитель СС1190, можно повысить мощность передатчика, в результате чего ЭИМ увеличится в 4 раза, но на текущем этапе разработки было решено создавать опытный радиомодем без добавления усилителя СС1190, так как это не позволило бы оценить эффект увеличения дальности связи, используя другие методы, например, замену конденсаторов на термостабильные, использование направленных антенн, улучшение высокочастотного тракта, повышение чувствительности и других модернизаций, которые в комплексе могут дать хороший результат.

С целью установления максимальной дальности передачи данных радиомодемом в обновленной конфигурации были проведены полевые испытания. В качестве передатчика использовался модернизированный радиомодем РМ81 совместно с секторальной антенной ПА868 с диаграммой направленности, представленной на рисунке 4.



Рис. 4. Диаграмма направленности антенны ПА868

На стороне приемника использовался модем М32 со штыревой антенной производства НТЦ КУМИР.

Место проведения испытаний показано на рисунке 5.

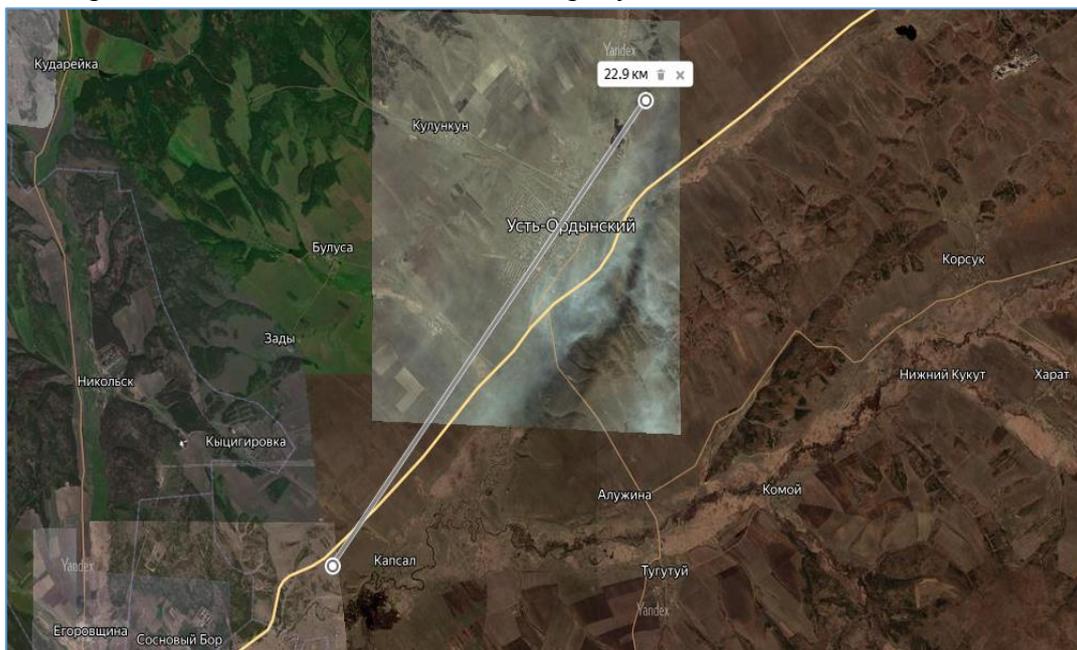


Рис. 5. Место проведения полевых испытаний

В результате максимальная дальность связи составила 23 км. При использовании более мощного усилителя СС1190 с максимальной ЭИМ 100мВт появится возможность увеличить дальность передачи данных до 100 км.

Таким образом, планируемая дальность передачи данных позволит разместить точки мониторинга в северной части Байкала, где наблюдаются трудности с мобильной связью и сетью интернет. Текущая и планируемая зона связи показаны на рисунке 6.

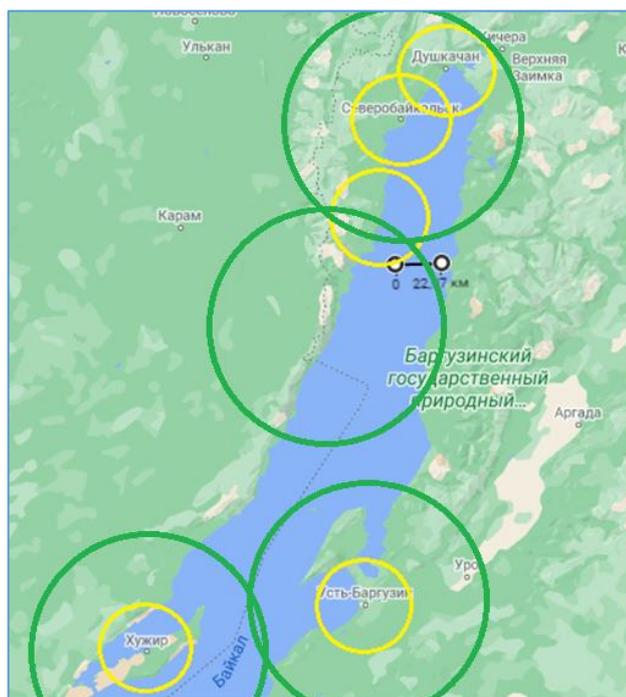


Рис. 6. Текущая (желтая) и планируемая (зеленая) зоны покрытия

Отличительной особенностью разрабатываемого радиомодема является возможность передавать данные других измерений, так как он имеет аналоговые и цифровые порты и может работать с аналоговыми и цифровыми датчиками, например, JFE AAQ-RINKO, который используется в настоящий момент на автоматических станциях мониторинга ЛИН СО РАН.

Следующий этап заключается в реализации свойства масштабируемости цифровой системы мониторинга, для чего требуется разработка относительно бюджетного способа измерения среднего уровня воды в открытой акватории.

3. Способ определения уровня воды. На данный момент открытие каждого дополнительного гидрологического поста обходится очень дорого ввиду использования зарубежных приборов и датчиков.

Например, гидрологический зонд MIDAS SVX2 производства Великобритании по состоянию на 2020 год стоил 767 401 руб., MIDAS CTD+ от 480 000 руб., американский зонд CTD SBE 49 FastCAT от 300 000 руб. Поэтому сложившаяся обстановка на рынке не позволяет создать бюджетную сеть мониторинга гидрологических параметров.

В рамках реализации свойства масштабируемости цифровой системы мониторинга был предложен новый более бюджетный способ определения среднего уровня воды открытых водоемов, на который в настоящий момент подана заявка на полезную модель в патентное бюро.

Основной задачей нового метода является определение среднего уровня воды природных водоемов в летний и зимний периоды. Метод позволит регистрировать поперечные волны и сейши в озере, отслеживать движение атмосферных фронтов, регистрировать влияние землетрясений и возможность их прогноза, регистрировать прочие природные явления на воде.

Принцип способа заключается в следующем. Вначале датчики калибруются на одной высоте для минимизации погрешности измерения. Затем на наземной станции устанавливается один из датчиков (опорный датчик) атмосферного давления, который в

расчетах принимается за ноль. В водоеме устанавливается измерительный буй со вторым регистрирующим датчиком, измеряющим текущее значение атмосферного давления на воде. При изменении уровня воды в водоеме регистрирующий датчик фиксирует изменение высоты посредством изменения атмосферного давления и передает данные на сервер.

Затем полученные данные используют для определения уровня жидкости в водоеме по определенным математическим зависимостям, описанным в изобретении. При определении уровня жидкости в водоеме компенсируется общее атмосферное давление, а в расчет принимается только разность между датчиками на суше и на воде по следующей формуле:

$$P = P_H - P_B,$$

где P_H – значение атмосферного давления на берегу (гПа), а P_B – значение атмосферного давления с датчика в водоеме (гПа).

Полученное значение разности давления пересчитывается в уровень жидкости по соотношению:

$$0.002 \text{ гПа} = 0,0174 \text{ м (1,74 см)}.$$

Схема инновационного способа измерения уровня воды представлена на рисунке 7.

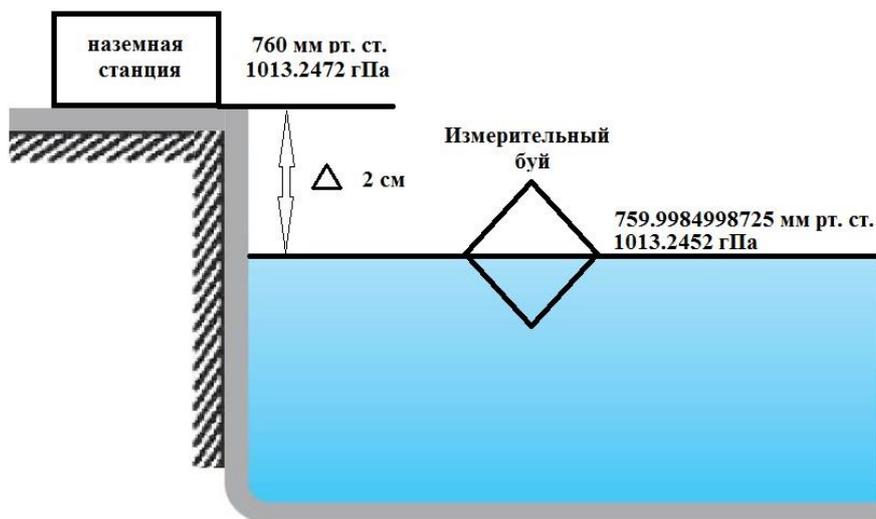


Рис. 7. Способ измерения уровня воды

Регистрирующее устройство состоит из чувствительного элемента, преобразователя интерфейса для работы с радиомодемом, радиомодема для передачи данных между устройствами, источников питания (аккумулятор, солнечные элементы), антенны и корпуса.

Простота внедрения регистрирующих датчиков позволяет расположить их на большой площади акватории, а радиоканальная передача данных дает возможность регистрировать данные в режиме онлайн. Это способствует созданию единой системы мониторинга гидрофизических параметров и уровня воды не только озера Байкал, но и таких объектов энергетики как Богучанская ГЭС, Братская ГЭС, Иркутская ГЭС.

При увеличении количества точек мониторингакратно возрастает надежность расчетов и прогнозов по текущим методикам.

Заключение. Предлагаемая информационно-измерительная система является надежным и низкзатратным инструментом сбора, передачи и обработки информации в рамках создания единой государственной системы экологического мониторинга и локальной системы мониторинга прибрежной зоны озера Байкал и Прибайкальской территории.

Внедрение этой системы будет способствовать формированию общего массива данных для составления экологических карт, разработке геоинформационных систем, моделированию и прогнозу экологических ситуаций, использованию полученных данных в научных целях и в актуальных методиках расчета для объектов энергетики.

Синхронизация телеметрических данных позволиткратно повысить достоверность методик расчета, используемых в институтах для определения среднего уровня озера, в том числе его ежедневного значения для оперативного регулирования сбросами Иркутского гидроузла. Интеграция дополнительных станций по всей акватории прибайкальской территории позволит учитывать территориальное изменения уровня воды. При введении в эксплуатацию достаточного количества автоматических станций можно будет повысить точность расчета среднесуточного уровня с определением новых весовых коэффициентов учета влияния каждой станции.

Объединение усилий различных ведомств и научных организаций в рамках единой системы мониторинга окружающей среды позволит разработать комплексный подход к мониторингу окружающей среды и прибрежной зоны озера Байкал и Прибайкальской территории, использовать единую базу накопленных данных в интересах различных ведомств и научных организаций, существенно сократить общие затраты на проведение исследований.

Список источников

1. Указ «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». – URL: <http://kremlin.ru/events/president/news/57425>. (дата обращения: 08.04.2022).
2. Федеральный закон от 01.05.1999 г. N 94-ФЗ " Об охране озера Байкал". – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/13787> (дата обращения: 15.04.2022).
3. Постановление Правительства РФ от 6 июня 2013 г. N 477 "Об осуществлении государственного мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды". – URL: <https://base.garant.ru/70393142/> (дата обращения: 14.04.2022).
4. Постановление Правительства РФ от 2 февраля 2015 г. N 85 "Об утверждении Положения о государственном экологическом мониторинге уникальной экологической системы озера Байкал". – URL: <https://base.garant.ru/70858440/> (дата обращения: 14.04.2022).
5. Никитин В.М. Концептуальные и методические основы мониторинга и прогнозирования уровня озера Байкал / В.М. Никитин, Н.В. Абасов, Е.Н. Осипчук и др.// Отчет о научно-исследовательской работе по договору № 2.0110.20.10-нир от 12.10.2020 по крупному научному проекту фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки байкальской природной территории.
6. Комплекс учета и мониторинга ООО "НТЦ КУМИР". – URL: <http://ntckumir.ru> (дата обращения: 09.04.2022).
7. Патент на изобретение N2382520 от 20.02.2010. Способ передачи данных телеметрии по открытым IP-сетям при нахождении устройств телеметрии в сегменте локальных частных адресов / Белоусов Р.А., Фискин Е.М., Фискина М.М.
8. Belousov R.A., Pinkin A.A., Fiskin E.M., Fiskina M.M. The possibilities of “Kumir-Resource” system for SMART GRID and apartment level energy accounting. EURO-ECO 2015. Das Internationale Symposium «Ökologische, Technologische und Rechtliche Aspekte der Lebensversorgung». Hannover, 2015, pp.15-16.
9. Belousov R.A., Pinkin A.A., Fiskin E.M., Fiskina M.M. Data collection system for SMART GRID. EURO-ECO 2014. Das Internationale Symposium «Ökologische, Technologische und Rechtliche Aspekte der Lebensversorgung». Hannover, 2014, pp.28-29.
10. Integrated Systems for Commercial and Technological Control of Energy Resources Consumption in Urban Areas and Businesses in. – URL: <https://www.scopus.com> (дата обращения: 07.04.2022).
11. Федеральный закон от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ " Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации". – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/30163> (дата обращения: 10.04.2022).
12. Федеральный закон от 27.12.2018 г. № 522-ФЗ " О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с развитием систем учета электрической энергии (мощности) в Российской Федерации". – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43868> (дата обращения: 10.04.2022).

13. Решение Государственной комиссии по радиочастотам от 11 сентября 2018 г. N 18-46-03-1 "О выделении полос радиочастот, внесении изменений в решения ГКРЧ и продлении срока действия решений ГКРЧ". – URL: <https://base.garant.ru/72061772/> (дата обращения: 11.04.2022).

14. Николаев А.А. Радиомодем для поквартирного учета ресурсов/ А.А. Николаев, М.С. Сизых, А.А.Пинкин //Всероссийская научно-практическая конференция «Повышение эффективности производства и использования энергии в условия Сибири, 2016. –Том 2. – С. 450-453.

Николаев Андрей Андреевич, аспирант кафедры РЭиТС, Иркутский национальный исследовательский технический университет, ORCID: 0000-0002-3171-8184, Nikolaev-9494@mail.ru, Россия, Иркутск, Лермонтова д.83.

Фискин Евгений Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры Радиоэлектроники и телекоммуникационных систем, Иркутский национальный исследовательский технический университет, ORCID: 0000-0002-3862-8675, fmm1@rambler.ru, Россия, Иркутск, Лермонтова д.83.

Фискина Маргарита Михайловна, кандидат технических наук, доцент кафедры Радиоэлектроники и телекоммуникационных систем, Иркутский национальный исследовательский технический университет, ORCID: 0000-0001-6723-1047, fmm1@mail.ru, Россия, Иркутск, Лермонтова д.83.

UDC 621.317.791

DOI:10.38028/ESI.2022.27.3.008

Digital system for monitoring the water level of open reservoirs of the Baikal natural territory based on the technology of the IIS "KUMIR-RESOURCE" for energy facilities

Andrey A. Nikolaev, Evgeny M. Fiskin, Margarita M. Fiskina

National Research Irkutsk State Technical University, Russia, Irkutsk, *Nikolaev-9494@mail.ru*

Abstract. The material contains information about the creation of a budgetary digital system for monitoring the water level of open reservoirs, which includes measuring sensors, devices for collecting and transmitting data to a server for data processing. A method and device for determining the liquid level in open reservoirs is described. The decision to use data transmission technology as in information-measuring systems (IMS) is substantiated. A solution is proposed to create a radio modem for data transmission to the server.

Keywords: information-measuring system, water level monitoring, radio modem

References

1. Ukaz «O nacional'nyh celyah i strategicheskikh zadachah razvitiya Rossijskoj Federacii na period do 2024 goda» [Decree "On national goals and strategic objectives of the development of the Russian Federation for the period up to 2024], available at: <http://kremlin.ru/events/president/news/57425>. (accessed 08 April 2022). (In Russian)
2. Federal'nyj zakon ot 01.05.1999 g. N 94-FZ " Ob ohrane ozera Bajkal " [Federal Law No. 94-FZ of 01.05.1999 "On the Protection of Lake Baikal"]. Available at: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/13787>. (accessed 15 April 2022). (In Russian)
3. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 6 iyunya 2013 g. N 477 "Ob osushchestvlenii gosudarstvennogo monitoringa sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchej sredy" [Decree of the Government of the Russian Federation No. 477 of June 6, 2013 "On the implementation of state monitoring of the state and pollution of the environment"]. Available at: <https://base.garant.ru/70393142>. (accessed 14 April 2022). (In Russian)
4. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 2 fevralya 2015 g. N 85 "Ob utverzhdenii Polozheniya o gosudarstvennom ekologicheskom monitoringe unikal'noj ekologicheskoy sistemy ozera Bajkal" [Decree of the Government of the Russian Federation No. 85 dated February 2, 2015 "On Approval of the Regulations on State Environmental Monitoring of the Unique Ecological System of Lake Baikal"]. Available at: <https://base.garant.ru/70858440/>. (accessed 14 April 2022). (In Russian)
5. Nikitin V.M., Abasov N.V., Osipchuk E.N., Berezhnykh T.V., Berdnikov V.M., Petrukhina V.A. Konceptual'nye i metodicheskie osnovy monitoringa i prognozirovaniya urovennogo rezhima ozera Bajkal. Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote po dogovoru № 2.0110.20.10-nir ot 12.10.2020 po krupnomu nauchnomu proektu fundamental'nye osnovy, metody i tekhnologii cifrovogo monitoringa i prognozirovaniya ekologicheskoy obstanovki bajkal'skoj prirodnoj territorii. [Conceptual and methodological foundations for

- monitoring and forecasting the level regime of Lake Baikal. Report on research work under contract No. 2.0110.20.10-nir dated 10/12/2020 on a major scientific project fundamentals, methods and technologies for digital monitoring and forecasting of the ecological situation in the Baikal natural territory.] (In Russian)
6. Kompleks ucheta i monitoringa OOO "NTC KUMIR" [Complex of accounting and monitoring LLC "NTC KUMIR"]. Available at: <http://ntckumir.ru> (accessed 09 April 2022). (In Russian)
 7. Belousov R.A., Fiskin E.M., Fiskina M.M. Patent na izobretenie N2382520 ot 20.02.2010. Sposob peredachi dannyh telemekhaniki po otkrytym IP-setyam pri nahozhdenii ustrojstv telemekhaniki v segmente lokal'nyh chastnyh adresov [Patent for invention N2382520 dated February 20, 2010. Method for transmitting telemetry data over open IP networks when telemetry devices are located in the segment of local private addresses] (In Russian)
 8. Belousov R.A., Pinkin A.A., Fiskin E.M., Fiskina M.M. The possibilities of "Kumir-Resource" system for SMART GRID and apartment level energy accounting. EURO-ECO 2015. Das Internationale Symposium «Ökologische, Technologische und Rechtliche Aspekte der Lebensversorgung». Hannover, 2015, pp.15-16.
 9. Belousov R.A., Pinkin A.A., Fiskin E.M., Fiskina M.M. Data collection system for SMART GRID// EURO-ECO 2014. Das Internationale Symposium «Ökologische, Technologische und Rechtliche Aspekte der Lebensversorgung». Hannover, 2014, pp.28-29.
 10. Integrated Systems for Commercial and Technological Control of Energy Resources Consumption in Urban Areas and Businesses in Russia. Available at: <https://www.scopus.com> (accessed 07 April 2022).
 11. Federal'nyj zakon ot 23.11.2009 g. № 261-FZ " Ob energosberezhenii i o povyshenii energeticheskoy effektivnosti i o vnesenii izmenenij v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii" [Federal Law No. 261-FZ dated November 23, 2009 "On Energy Saving and Energy Efficiency Improvement and on Amendments to Certain Legislative Acts of the Russian Federation"]. Available at: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/30163> (accessed 10 April 2022). (In Russian)
 12. Federal'nyj zakon ot 27.12.2018 g. № 522-FZ " O vnesenii izmenenij v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii v svyazi s razvitiem sistem ucheta elektricheskoy energii (moshchnosti) v Rossijskoj Federacii" [Federal Law No. 522-FZ of December 27, 2018 "On Amendments to Certain Legislative Acts of the Russian Federation in Connection with the Development of Electricity (Power) Metering Systems in the Russian Federation"]. Available at: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43868> (accessed 10 April 2022). (In Russian)
 13. Reshenie Gosudarstvennoj komissii po radiochastotam ot 11 sentyabrya 2018 g. N 18-46-03-1 "O vydelenii polos radiochastot, vnesenii izmenenij v resheniya GKRCH i prodlenii sroka dejstviya reshenij GKRCH" [The decision of the State Commission on Radio Frequencies of September 11, 2018 N 18-46-03-1 "On the allocation of radio frequency bands, amendments to the decisions of the SCR and the extension of the validity of the decisions of the SCR"]. Available at: <https://base.garant.ru/72061772/> (accessed 11 April 2022). (In Russian)
 14. Sizykh M.S., Nikolaev A.A., Pinkin A.A. Radiomodem dlya pokvartirnogo ucheta resursov: [Radio modem for apartment accounting of resources]. Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Povyshenie effektivnosti proizvodstva i ispol'zovaniya energii v usloviya Sibiri» [Materials of the All-Russian scientific and practical conference "Improving the efficiency of production and use of energy in the conditions of Siberia"]. ISTU, 2016, vol. 2, pp. 450-453. (In Russian)

Andrey A. Nikolaev, Postgraduate student of the Department of Radioelectronics and Telecommunication Systems, National Research Irkutsk State Technical University, ORCID: 0000-0002-3171-8184, Nikolaev-9494@mail.ru, Russia, Irkutsk, Lermontova d.83.

Evgeny M. Fiskin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Radioelectronics and Telecommunication Systems, National Research Irkutsk State Technical University, ORCID: 0000-0002-3862-8675, fmm1@rambler.ru, Russia, Irkutsk, Lermontova d.83.

Margarita M. Fiskina, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Radioelectronics and Telecommunication Systems, National Research Irkutsk State Technical University, ORCID: 0000-0001-6723-1047, fmm1@mail.ru, Russia, Irkutsk, Lermontova d.83.

Статья поступила в редакцию 01.07.2022; одобрена после рецензирования 06.09.2022; принята к публикации 07.09.2022.

The article was submitted 07/01/2022; approved after reviewing 09/06/2022; accepted for publication 09/07/2022.