

УДК 502:46:656.61

# ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ШХЕРНОГО РАЙОНА ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

**М. Я. Андреев, И. Л. Рубанов, Ю. А. Стефанов,  
И. М. Рубанова,  
А. В. Борисов**

ОАО «Концерн «Океанприбор»<sup>1</sup>  
Государственный университет сервиса и экономики<sup>2</sup>  
Карельский филиал ОАО «Концерн «Океанприбор»<sup>3</sup>

Предлагается построение интегрированной системы экологического мониторинга шхерного района Ладожского озера, базирующейся на возможности использования плавательных средств Карельского филиала ОАО «Концерн «Океанприбор».

## ВВЕДЕНИЕ

Известно, что экологический мониторинг представляет собой комплексную систему наблюдений за состоянием окружающей среды, оценки и прогноза изменений ее состояния под воздействием антропогенных и природных факторов [1].

Нами предлагается интегрированная система экологического мониторинга (ИСЭМ) шхерного района Ладожского озера, базирующаяся на плавательных средствах Карельского филиала ОАО «Концерн «Океанприбор».

Ладожское озеро играет огромную роль как в обеспечении деятельности народнохозяйственного комплекса Северо-Западного региона Российской Федерации, так и в создании нормальных условий жизни многомиллионного населения города Санкт-Петербурга, Ленинградской области, Республики Карелия (питьевое водоснабжение, рыболовство, рекреация).

Следует отметить, что в бассейне Ладожского озера вели-

ка доля отраслей по первичной обработке и переработке сырья, которые характеризуются высокой степенью отходов. Так, в Ленинградской области большой удельный вес имеют топливно-энергетическая, химическая, лесная, целлюлозно-бумажная промышленность, машиностроение; в Карелии – лесная и деревообрабатывающая промышленность [2]. Кроме того, Ладожское озеро является зоной интенсивного судоходства.

Шхерным районом Ладожского озера – уникальным природным образованием – считается островной район, расположенный вдоль северо-западных берегов от мыса Рогатый (7,5 км на северо-запад от устья р. Вуокса) на западе и до мыса Ристиниеми (Питкярантский залив) на востоке (рис. 1). Длина шхерного района около 100 км, ширина от береговой черты до южной границы колеблется от 6 до 25 км в зависимости от распространения шхер. В пределах шхерного района имеются ложбины, отличаю-

щиеся большими глубинами – до 230 м [3].

На берегах шхерного района расположен ряд крупных населенных пунктов: Кузнечное, Куркийоки, Лахденпохья, Сортавала, Питкяранта.

В настоящее время шхерный район представляет также значительный интерес как объект экологического и водного туризма [4, 5].

Все вышеизложенное определяет повышенное внимание к экологическим проблемам шхерного района Ладожского озера.

## 1. Основные источники загрязнения окружающей среды

Основным источником загрязнения окружающей среды

<sup>1</sup> 197376, Санкт-Петербург, Чкаловский пр-т, д. 46; e-mail: mfp@mail.wplus.net

<sup>2</sup> 191015, Санкт-Петербург, ул. Кавалергардская, д. 7; e-mail: irinarubanova2005@yandex.ru

<sup>3</sup> 186734, Респ. Карелия, п. Лаасонен, ул. Ленинградская, д. 3; тел.: (814-50) 34-461

в акватории Ладожского озера является жизнедеятельность населения в городах и населенных пунктах, расположенных на берегу, особенно в свете современного состояния котельных, очистных сооружений и других объектов ЖКХ Северо-запада Российской Федерации. Влияют на экологию также промышленные и сельскохозяйственные предприятия, водный транспорт.

В таблице приведены обобщенный перечень основных источников загрязнения окружающей среды и краткая характеристика загрязняющих веществ.

## 2. Состав интегрированной системы экологического мониторинга

По нашему мнению, ИСЭМ указанного шхерного района должна содержать стационарную составляющую, развернутую на базе плавлаборатории

(ПЛ) проекта 14840 в заливе Найсмери (рис. 2), и мобильную составляющую, развернутую на рейдовом катере (РК), основанном на морском постановщике буев шведской постройки пр. 508 OSV «Акустик», соот-

ветствующего регистру М 3,0. Важно отметить, что «Акустик» уже оборудован спуско-подъемным устройством (СПУ) на основе кабельной лебедки ПК 3500/1800 производства ООО «Псковгеокабель» (рис. 3).

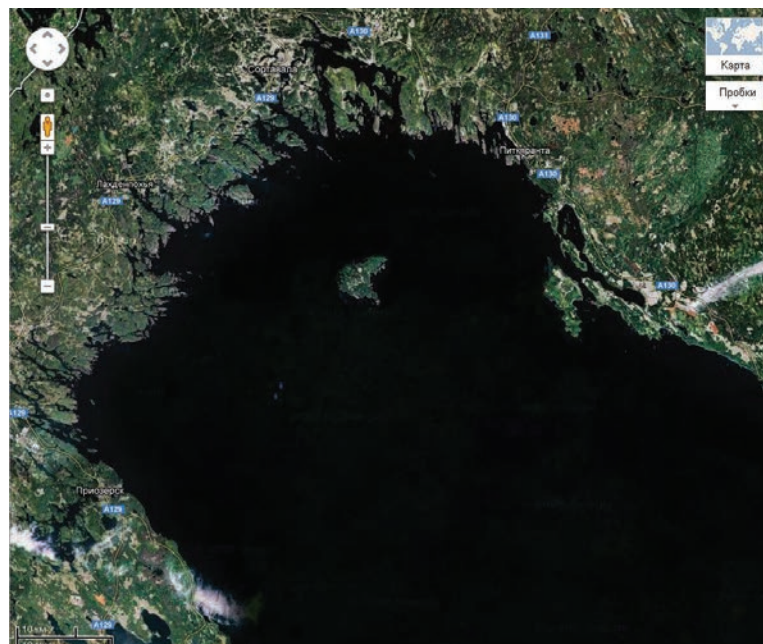


Рис. 1. Спутниковая карта северной части Ладожского озера

### Перечень основных источников загрязнения акватории Ладожского озера

| Источник загрязнения окружающей среды |   | Характер воздействия загрязняющего вещества  |
|---------------------------------------|---|--|
| Жизнедеятельность населения           | Хозяйственно-бытовые сточные воды                 | Сбросы растворов мыла, порошков и других моющих средств. Наиболее токсичный элемент – сульфанол                                  |
|                                       | Системы сточных вод                               | Отходы жизнедеятельности (мочевина, аммиак и т.д.)   |
|                                       | Системы сбора и удаления бытовых отходов (мусора) | Бытовые отходы   |
|                                       | Системы освещения                                 | При нарушениях установленных правил утилизации – ртутное загрязнение   |
|                                       | Личный наземный и водный транспорт                | Нефтеуглеводороды  |
| Промышленные предприятия              | Системы сточных вод                               | Отходы целлюлозно-бумажной, деревообрабатывающей, мебельной промышленности, содержащие нефтеуглеводородные, фенольные соединения |
|                                       | Наземный транспорт                                | Нефтеуглеводороды  |
|                                       | Системы освещения                                 | При нарушениях установленных правил утилизации – ртутное загрязнение   |
|                                       | Системы сбора и удаления промышленных отходов     | Щепа, бревна, гранитная крошка и т.д.  |
| Сельскохозяйственные предприятия      |   | Органические и неорганические удобрения, отходы жизнедеятельности домашних животных  |
| Водный транспорт                      | Судовые энергетические установки                  | Выбросы выхлопных газов: углеводороды; оксид углерода; оксиды азота и нефтесодержащих вод  |
|                                       | Судовые системы сточных вод                       | Отходы жизнедеятельности экипажа   |
|                                       | Конструкции корпуса судна                         | Растворение протекторной защиты; лакокрасочные покрытия (ионы меди)  |



Рис. 2. Плавлаборатория проекта 14840 в заливе Найсмери

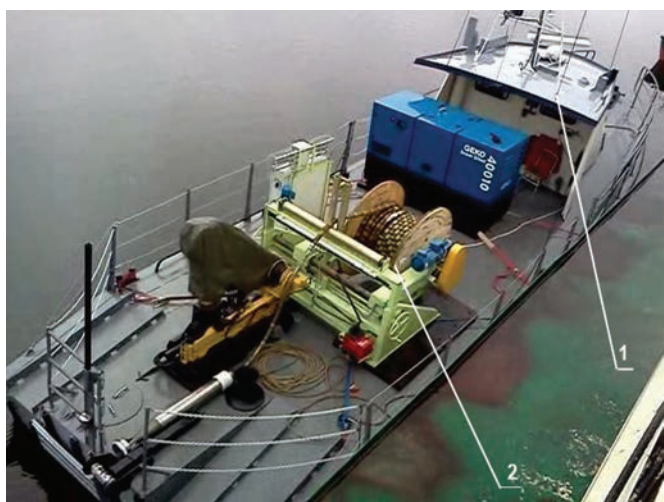


Рис. 3. Проект 508 OSV «Акустик» со спускоподъемным устройством на основе кабельной лебедки ПК 3500/1800: 1 – РК «Акустик», 2 – СПУ

В состав средств мониторинга, размещенных на стационарном плавсредстве, должны входить датчики давления, температуры, прозрачности, наличия примесей, гидроакустические профилографы, например ПГ-300 [6] или ГП-400 [7], стандартные средства отбора проб, например ковш-дочерпатель Д4-2 [6], или ударные трубки различных модификаций [8], а также базы данных по характеристикам толщ воды и дна, иерархическая автоматизированная система сбора и обработки информации, пульт индикации.

В состав средств мониторинга, размещаемых на мобильном плавсредстве, должны входить те же системы датчиков, что и на стационарном плавсредстве,

плюс дополнительно активно-пассивная гидроакустическая станция с гибкой протяженной буксируемой излучающей антенной (ГАС с ГПБИА) [9], а также навигационный эхолот, судовая навигационная радиолокационная станция, метеостанция, средства радиосвязи речного и морского регистров.

Отметим, что некоторые из перечисленных выше систем датчиков могут быть исполнены на основе волоконной оптики. Волоконно-оптическая схема такой системы состоит из двух частей:

– выносимой за борт пассивной части на основе волоконно-оптического световода со сформированными в нем чувствительными элементами датчиков, измеря-

ющими требуемые параметры среды;

– бортовой части в виде модуля формирования и регистрации оптических сигналов (так называемый «интеррогатор»), включающей в себя лазерный оптоэлектронный блок формирования оптических импульсов опроса волоконных чувствительных элементов и блок первичной обработки отраженных оптических сигналов на основе сканирующего интерферометра Фабри–Перо.

Достоинством таких систем является то, что находящаяся забортная измерительная часть не требует электропитания, не содержит электрических проводников, все чувствительные элементы сформированы в одном волоконном световоде и обладают хорошей адаптивностью к мультиплексированию сигналов. В качестве основы чувствительного элемента может быть положена либо записанная в волоконном световоде решетка Брэгга, либо интерферометр Фабри–Перо, образованный между двумя последовательно сформированными по длине световода решетками Брэгга. Физическая основа построения датчиков – это свойство изменения длины волны или фазы излучения при изменении параметров решетки Брэгга или резонатора Фабри–Перо под воздействием на чувствительный элемент таких факторов водной среды, как температура, давление, соленость [10].

Оптические импульсы опроса датчиков формируются лазером, направляются в световод и осуществляют временной «опрос» последовательно расположенных в световоде чувствительных элементов. Последовательность отраженных оптических сигналов по световоду возвращается обратно

в оптоэлектронный блок, где с помощью сканирующего интерферометра Фабри–Перо производится анализ изменения отраженных длин волн излучения, и далее в центр обработки данных выдается первичная информация о параметрах физических полей. Мультиплексирование сигналов осуществляется либо за счет задержки по времени опроса, либо за счет записи решеток на разные длины волн. Подобная схема обеспечивает возможность формировать число датчиков до нескольких десятков штук в одном волоконном световоде длиной до одного километра и производить одномоментный мониторинг больших водных пространств [11].

### 3. ИСЭМ как иерархический структурированный человеко-машинный комплекс

В связи с ограничением времени на принятие решений в условиях недостаточности информации и многофакторности изменяемых входных параметров в процессе эксплуатации ИСЭМ весьма важную роль играет человеческий фактор (ЧФ). Это особенно значимо в критических ситуациях (авария судна, выброс из очистных сооружений, переполнение водохранилищ при малых ГЭС или прорыв плотин), при этом определяющими становятся не только структура, производительность и быстродействие аппаратно-програмной платформы ИСЭМ и эргономическая обеспеченность пультовой группы, но и уровень подготовки оператора, его утомляемость и ряд других объективных и субъективных факторов.

Очевидно, что налицо противоречие между необходимостью минимизации влияния ЧФ на

работу ИСЭМ и возможностью полностью автоматизировать ее работу. В результате требуется участие в работе ИСЭМ как оператора, так и систем искусственного интеллекта, в частности, систем поддержки принятия решения (СППР), а ИСЭМ, по нашему мнению, должна рассматриваться как иерархически-структурированный человеко-машинный комплекс.

Важным моментом безаварийного функционирования человеко-машинного комплекса является построение интеллектуального человеко-машинного интерфейса оператора (ИИО), учитывающего психологические особенности человека, в частности, достоинства и недостатки оператора ИСЭМ и его возможность адекватно воспринимать информацию, оценивать ситуацию и принимать решения в условиях динамического пространства состояний [12].

Действительно, известно, что во взаимодействии человека и компьютера имеются принципиальные ограничения, связанные с ограниченными возможностями человека оперировать с информацией. Психологи оценивают возможности человека законом «семь плюс-минус два», что означает, что он в состоянии следить не более чем за семью переменными, меняющимися во времени.

Число переменных, за которыми может эффективно следить человек, зависит от того, насколько быстро они меняются и насколько сложные управляющие действия могут понадобиться. В математической психологии показывается, что в критических ситуациях есть возможность оперировать не более чем двумя-тремя переменными.

Блок-схема ИСЭМ приведена на рис. 4.

ИИО должен обеспечивать адаптивное к пользователю и

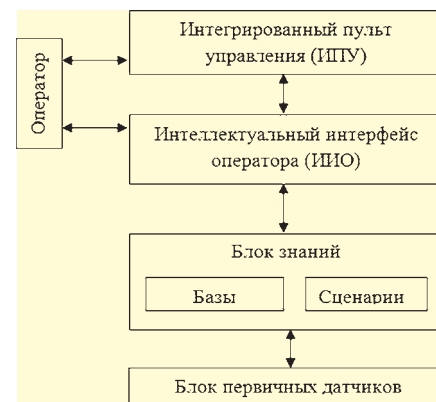


Рис. 4. Блок-схема интегрированной системы экологического мониторинга (ИСЭМ)

задаче поиска цели (или мониторинга акватории) взаимодействие оператора и ИСЭМ, диалоги между пользователем и системой, представление информации на интегрированном пульте управления в максимально исчерпывающем и позволяющем оператору принять верное решение виде.

Априорная информация, модель, знания – базы данных и сценарии, используемые в ИИО, должны, по нашему мнению, обеспечить:

- автоматическое выполнение ряда задач ИСЭМ;
- отбор текущей информации, необходимой оператору;
- выбор и предупреждение оператора об ошибочности его действий.

Для решения указанных выше задач ИИО должен включать в себя (рис. 5):

- модуль интерпретации, описывающий текущие планы оператора и модели его намерений и дальнейших действий;
- модуль выявления ошибок, определяющий, имеют ли действия оператора серьезные отрицательные последствия в контексте существующей ситуации, особенно в дуэльной или аварийной;
- модуль адаптивной поддержки, использующий состояние объекта носителя и планы

действия оператора для формирования задач, которые должны быть выполнены;

- модуль разработки планов действий, объединяющий сформированные планы в предложении для оператора ИСЭМ.

Отметим, что некоторые модули ИИО имеют функциональные особенности.

Так, в частности, модуль интерпретации является новой формой взаимодействия оператора и ИСЭМ, находящейся на более высоком уровне, чем ранее.

Возможны две разновидности интерпретации – основанная на сценарии, которая используется для определенной последовательности действий, и основанная на плане, которая используется для менее структурированных действий.

Сценарная интерпретация имеет свои преимущества, основным из которых, по нашему мнению, в первую очередь является быстрота, так как отсутствует поиск вариантов. В процессе рассуждений, основанном на сценарии, используется набор предварительно заполненных процедурных представлений, которые и называются сценариями, чтобы объяснить действия оператора. Сценарий является стереотипным поведением в данной конкретной ситуации.

Рассуждение, основанное на плане, используется для объяснений действий оператора при решении им целевых задач ИСЭМ.

Модуль выявления ошибок должен обнаруживать ошибки оператора ИСЭМ, приводящие к серьезным последствиям. В случае обнаружения ошибок модуль должен сообщить об этом оператору. Принципиально возможна автоматическая корректировка ошибки, однако это должно производиться только по решению оператора ИСЭМ.

Целью этого модуля является предотвращение последствий ошибки оператора, а не самой ошибки. Модуль адаптивной поддержки решает задачи автоматически по решению оператора.

Подробная поддержка необходима в следующих случаях:

- оператор слишком загружен, чтобы выполнять еще одну задачу;
- оператор не способен (по различным причинам) управлять ИСЭМ самостоятельно;
- оператор совершает ошибку, которую сам не обнаруживает;
- угрожающая ситуация (например, аварийная) требует немедленных действий.

По нашему мнению, рассмотрение ИСЭМ как иерархически структурного человеко-машинного комплекса, разработка и внедрение интеллектуального человеко-машинного интерфейса оператора позволит улучшить работу ИСЭМ, а разработка и внедрение ИСЭМ позволят с новым качеством проводить комплексный мониторинг экологического состояния шхерного района Ладожского озера.



Рис. 5. Блок-схема интеллектуального интерфейса оператора (ИИО)

## ЛИТЕРАТУРА

1. Инженерная экология и экологический менеджмент / под ред. Н. Иванова, И. Фадиной. М.: Логос, 2004. 520 с.
2. Румянцев В. А., Дракובה В. Г. Ладожское озеро. Прошлое, настоящее, будущее. С.-Петербург: Наука, 2002. 326 с.
3. Калесник С. В. Комплексные исследования шхерной части Ладожского озера. М.: Наука, 1961. 283 с.
4. Громов В. В. Иешко Е. П. Основные направления экологического туризма на особо охраняемых природных территориях Республика Карелия // Сб. трудов УИ Международного эколог. форума «День Балтийского моря». С.-Петербург, 2008. С. 144–147.
5. Сапожников В. А., Шевелева И. В. Роль экологического туризма в решении проблем охраны окружающей среды (опыт работы на прибрежных территориях Ладожского озера) // Сб. трудов УИ Международного эколог. форума. «День Балтийского моря». Санкт Петербург, 2008. С. 162–164.
6. Свечников А. И. Дистанционная оценка плотности донного грунта акустическим методом // Труды X Всерос. конф. «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». С.-Петербург: Наука, 2010. С. 448–450.
7. Войтов А. А., Остриянский Е. А., Свечников А. И. Гидрографический профилограф – новое техническое средство съемки грунта рельефа морского дна // Труды XII Международного конф. «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». С.-Петербург: Наука, 2004. С. 44–47.
8. Павлидис Ю. А., Никифоров С. Л. Обстановки морфолитогеоза в прибрежной зоне Мирового Океана. М.: Наука, 2007. 455 с.
9. Андреев М. Я., Охрименко С. Н., Рубанов И. Л. Разработка гидроакустической станции с гибкой протяженной буксируемой антенной для освещения подводной обстановки // Датчики и системы. 2008. № 11. С. 29–31.
10. Инновационное предприятие «НЦВО-Фотоника». URL: [www.forc-photonics.ru](http://www.forc-photonics.ru).
11. National Instruments. URL: <http://russia.ni.com>.
12. Лебедев В. Г. Принципы построения интеллектуального интерфейса пользователя для систем поддержки принятия решений оператором // Проблемы управления. 2004. № 3. С. 43–47.