

СОЗДАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СЕТИ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ НА ОСНОВЕ АНПА С СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКОЙ

М.Д. Агеев

Институт проблем морских технологий
ДВО РАН
Владивосток

Первые публикации Михаила Дмитриевича Агеева, посвященные проблемам создания АНПА с солнечной энергетикой, относятся к 1995 году и связаны с разработкой проекта «Солнечного» АНПА (САНПА) на основе сотрудничества ИПМТ ДВО РАН и AUSI (США). В этих и последующих работах была заложена и обоснована концепция создания широкомасштабной роботизированной сети океанографических измерений с использованием долговременных платформ и подводных аппаратов с питанием от солнечных батарей. Данные материалы публиковались в различных изданиях и были ориентированы на решение практических задач по совершенствованию САНПА и расширению возможностей их применения для океанографических исследований. Актуальность данных задач остается весьма высокой, о чем свидетельствуют работы, проводимые при участии AUSI по организации коллективного использования нескольких САНПА для обследования морских акваторий. Отдавая Михаилу Дмитриевичу Агееву дань памяти, мы считаем, что публикации его фундаментальных работ в нашем журнале будут служить интересам науки и дальнейшему развитию подводных технологий.

Л. Киселев

В кругах научных организаций существует общее мнение о невозможности собирать достаточное количество данных, с помощью которых можно было бы с приемлемой точностью описать динамику химических, биологических и физических параметров и процессов в озерах, морях и океанах. Основания для такой позиции весьма разнообразны — от чрезмерности объема необходимой информации и трудности ее получения и обработки до сомнений в доступности и надежности соответствующего оборудования. В то же время необходимо лучшее понимание таких явлений, как физические и биологические взаимодействия, биохимические процессы и циклы, и естественные, и обусловленные внешними воздействиями. Разреженность океанографических измерений в пространстве и во времени является важным фактором, на который давно обращали внимание океанологи [1–4]. Хотя необходимость более детальных измерений для мониторинга океана очевидна, применение современных методов и аппаратуры оказывается либо слишком дорогим, либо вообще невозможным.

Одним из возможных путей решения упомянутых задач является создание автоматизированных распределенных систем неподвижных и движущихся платформ, способных производить непрерывные измерения в выделенном районе океана. Подобные автономные сети океанографических измерений (АСОИ) способны обеспечить эффективный мониторинг значительных районов океана. Сеть позволит производить измерения в заданном районе с высоким разрешением как по времени, так и в пространстве. Благодаря ее автономности удельная стоимость сбора данных окажется много меньшей, чем при применении традиционных методов. Определяющим элементом АСОИ является автономная платформа с длительным временем работы. В качестве такой платформы нами рассматривается АНПА, использующий солнечную энергию [1–8].

Солнечные батареи, как известно, используются очень широко в различных областях техники, в частности, для навигационных и гидрометеорологических буев. В свежую погоду они, естественно, заливаются волной, так что возможность работы солнечной батареи

в воде не вызывает сомнений. Более того, в США произошла невольная проверка солнечной панели фирмы «Solarex» при погружении ее на глубину 275 м примерно на один год, когда затонул исследовательский буй. После подъема буя рыболовным судном оказалось, что солнечная панель вполне работоспособна, а после очистки от обрастания она показала исходные параметры. Кроме того, в ИПМТ ДВО РАН были проведены испытания в барокамере при давлении 65 МПа, показавшие способность кремниевых преобразователей выдерживать такое давление без изменения их свойств.

Исторически океанография столетиями была под гнетом крайней ограниченности объема собираемых данных. Ранние технологии, использовавшие батометры, свисавшие с бортов судна, давали вертикальные профили, основанные на считанных точечных замерах. Введение электронных инструментов типа CTD, обеспечивающих непрерывные измерения, увеличило объем выборки по вертикали, однако по-прежнему в ограниченном числе мест и моментов времени, соответствовавших положению и числу станций. Буйковые станции уве-

личили плотность данных во временном масштабе, но с еще большими пространственными ограничениями при сравнении с судовыми измерениями. Несмотря на огромные капиталовложения в океанографию, даже в наиболее полных атласах океанов приводятся крайне разреженные данные по большей части поверхности океана и по времени. Эти ограничения были отчасти сняты введением спутниковых измерений с их поистине глобальным охватом поверхности океанов. Хотя их возможности ограничены лишь поверхностным слоем вод океана в безоблачные дни, они отражают богатство структуры и динамики вод, которые оказываются в значительной степени скрытыми при использовании традиционных технологий судовых измерений. При возможности объединять спутниковый сбор данных с данными измерений с высоким разрешением в толще вод по большой площади многие океанские процессы могли бы быть лучше поняты.

Автономная сеть океанографических измерений (АСОИ) – концепция, предполагающая решение проблемы ограниченности объема измерений в океанах. Основной принцип сводится к тому, что некоторое число автономных узлов сети, осуществляющих измерения, может взаимодействовать друг с другом и получать океанографические данные одновременно, благодаря чему оказывается возможным получение данных о крупномасштабных океанских явлениях с высоким разрешением по времени и пространству на протяженном промежутке времени. Концепция АСОИ развивалась в течение многих лет и была рассмотрена многими исследователями. Одна из первых публикаций, в которой было введено это понятие, была представлена Генри Стоммелем из Вудсхоллского

океанографического института в 1989 г., где он предложил концепцию *SLOCUM* – использование множества аппаратов, перемещающихся в океанских просторах и транслирующих информацию в центр анализа данных [9]. В 1993 г. доктор Том Куртин усовершенствовал это понятие в статье, описывающей его версию множественной автономной системы, которую он назвал *AOSN* (АСОИ) [10].

Реальное значение АСОИ существенно возрастает, если обеспечить связь между измерительными платформами, которыми могут быть буи, подводные аппараты и иные устройства. Это позволяет координировать их взаимодействие при осуществлении измерений в районе того или иного океанского процесса. Например, легко себе представить распределенную гидроакустическую антенную систему, составленную из объектов АСОИ, конфигурация которой задается из центра, а предварительная обработка данных производится на месте, поскольку обеспечивается связь между объектами (узлами сети).

АСОИ должна быть составлена из группы автономных объектов, оснащенных датчиками, — узлов сети, которые работают согласованно, чтобы собирать океанографические данные. Эти узлы могут быть подвижны (АНПА) или неподвижны (буйковые станции). Для простоты изложения мы обозначим их как автономные инструментальные платформы (АИП). Каждый узел должен иметь возможность производить измерения, иметь связь с другими узлами, систему энергообеспечения, которая допускает длительное время работы, интеллектуальный процессор, способный обеспечить сотрудничество с другими узлами в АСОИ в режиме, обеспечивающем выполнение определенной

задачи. При выполнении этой задачи АНПА должны быть способны стыковаться с заякоренными буями, действующими как для зарядки АНПА, так и как узлы связи с отдаленным пользователем. Таким образом, отдаленный пользователь может оперативно взаимодействовать с АНПА. Предполагается, что АСОИ обеспечивает достаточно длительное время работы благодаря подзарядке АНПА во время их стыковки.

Представляется, что использование группы автономных измерительных платформ — единственный приемлемый вариант сбора достаточного количества данных для понимания и мониторинга процессов, которые продолжительны во времени и имеют значительный пространственный масштаб. Космические спутники – примеры таких систем, которые могут дистанционно получать большой объем данных в пространственном и временном измерениях, что позволяет понимать и оценивать глобальные процессы. Возможно, более важной является их способность идентифицировать высокоэнергетические явления, которые сохраняются лишь малые промежутки времени, но имеют значительное влияние на рассматриваемые процессы. Спутниковые системы, однако, не могут производить измерения в толще вод, чтобы накапливать данные, крайне необходимые для понимания влияния океана на глобальные процессы.

Альтернативное решение этой и других подобных проблем может дать АСОИ, использующая множество индивидуальных систем (АИП), каждая из которых контролирует сравнительно малые области в ограниченных периодах времени. Дистанционно собранные данные затем могут быть совместно обработаны, чтобы извлечь

требуемую информацию относительно явлений, представляющих интерес. Это минимизирует трудозатраты и затраты на исследовательские суда, которые должны были бы непрерывно курсировать в больших областях, чтобы обеспечить требуемые наблюдения. В данном случае их роль может быть ограничена наблюдением за функционированием АСОИ и управлением процессом сбора информации. Эта способность более эффективно использовать ограниченные человеческие и другие ресурсы при выполнении указанных задач является желательной целью и в ближайшее время станет возможной за счет использования автономных систем. Ключ к этому потенциалу – возможность эффективно управлять большим количеством АИП персоналом ограниченной численности. При этом не потребуется непрерывное управление каждой платформой и оно, вероятно, понадобится лишь эпизодически, если состояние определенного АИП или их группы потребует непосредственно вмешательства оператора.

Любая реализация АСОИ должна быть определена задачей, подлежащей разрешению, т. е. изучаемому явлению. Это касается выбора комплекта датчиков, соответствующих параметрам, подлежащим измерению. Необходимо также принимать во внимание пространственные и временные масштабы рассматриваемого процесса. Важное значение имеет точность измерений, от которой, в частности, зависит распознавание временных характеристик явления. Наконец, конфигура-

ция АСОИ должна быть определена надлежащим образом.

Всегда имеются ограничения на выбор доступных датчиков и платформ. Их размещение и способ взаимодействия друг с другом определяются исходя из свойств изучаемого явления. Ответы на все эти вопросы должны быть найдены потребителем данных раньше конфигурирования АСОИ. Отдельные представители сообщества океанологов уже начинают рассматривать и признавать широкие возможности использования рассматриваемых методов. Технологии, необходимые для развития систем АСОИ, в настоящее время быстро развиваются, и уже предпринимались попытки организации совместной работы группы АНПА. Еще многое нужно сделать, однако успешное решение этих задач сулит революционизировать океанские системы сбора данных в ближайшее время.

В ряде организаций существует мнение, что для развития АСОИ необходимы исследования и разработки в трех областях:

- 1) поиск инженерно-технологических решений оборудования АИП;
- 2) проблемы, связанные с созданием инфраструктуры, необходимой для эффективного взаимодействия АИП;
- 3) программное обеспечение – разработка алгоритмов и методов решения реальных задач.

Инженерно-технологические задачи

Рассматривая функционирование АСОИ в целом, мы можем выделить три вида платформ, которые должны входить в состав сети. Первый тип платформ – это АНПА, оснащенный необходимым набором датчиков. Аппарат совершает пространственное движение в толще вод и производит измерения тех параметров среды, которые соответствуют целям исследования процесса (рис.1).

Второй тип платформ должен обеспечивать обмен информацией между объектами АСОИ и центром сбора информации и управления. Эта платформа может находиться на поверхности, связь с погруженными

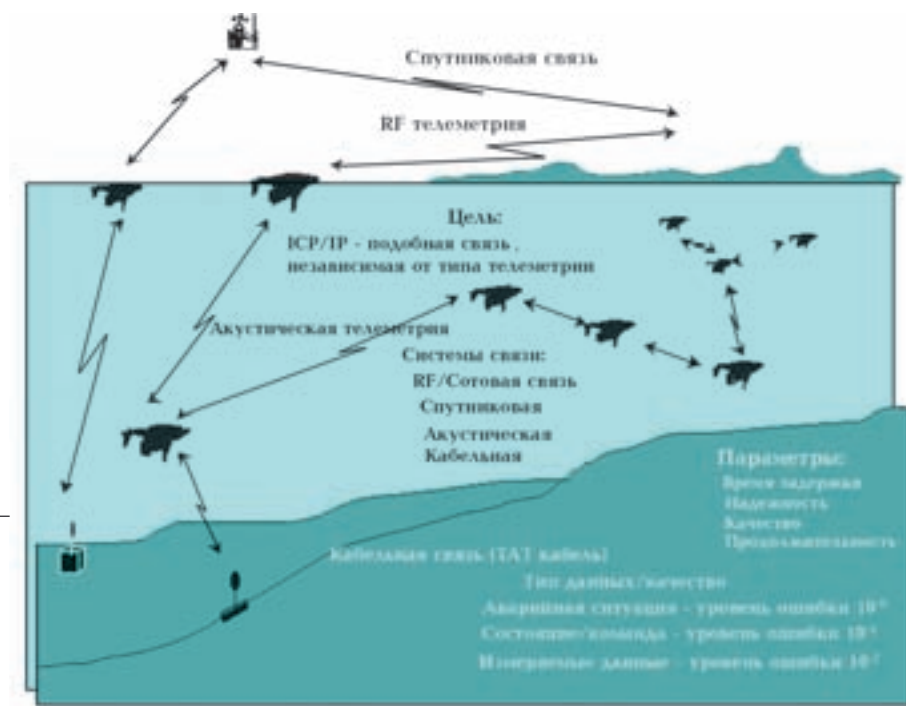


Рис. 1
Схема варианта построения АСОИ. TCP/IP – протокол управления передачей (Transmission Control Protocol) /протокол Интернета (Internet Protocol); TAT Cable – трансатлантический телефонный кабель (Trans Atlantic Telephone Cable)

АНПА осуществляется по гидроакустическому каналу, а с платформами на поверхности – по радиоканалу. Для связи с центром, очевидно, большей частью будут использоваться спутниковые системы. Наконец, третий тип платформы предназначается для энергоснабжения других АИП. Эта платформа должна вырабатывать такое количество энергии, которое необходимо для других платформ, входящих в состав АСОИ. АНПА могут стыковаться с платформой энергоснабжения для подзарядки бортовой системы. Для выполнения двух последних функций, очевидно, можно использовать одну платформу.

Альтернативный метод реализации функции пополнения энергии используется в солнечном АНПА. Как описано выше, САНПА черпает энергию из окружающей среды. Возможно использовать и другие формы экологически доступной энергии типа течений или волнового движения. В некоторых системах используются изменения плотности для обеспечения движения аппарата. В этом случае время работы аппарата определяется запасом энергии, необходимым для работы систем управления и измерений. Наряду с необходимостью использовать различные типы платформ концепция АСОИ подразумевает применение в АИП широкого набора подсистем, чтобы обеспечивать необходимые функциональные свойства АИП.

Измерительная подсистема. Хотя в настоящее время доступен широкий выбор разнообразных океанологических датчиков, применение их на платформах сети выдвигает специфические требования, которые должны учитываться. Продолжительное время автономной работы АСОИ обуславливает необходимость высокой надеж-

ности и стабильности характеристик измерительных устройств во времени. Поэтому должны использоваться различные методы самоконтроля и самокалибровки. Кроме того, автономность систем при ограниченных ресурсах энергии налагает требование экономичности по энергопотреблению. Аналогичным образом обстоит дело и с габаритными характеристиками. Короче говоря, аппаратура должна быть малогабаритной и потребляющей возможно меньше энергии.

Навигационная подсистема. Обеспечение точной навигации на протяженном промежутке времени является важным фактором полноценного функционирования АСОИ. Очевидно, что измеренные данные должны быть привязаны к временным и пространственным координатам с высокой точностью. Наряду с этим координация движений отдельных АИП возможна лишь тогда, когда есть уверенность в знании их точного взаимного положения. Решение проблемы навигации облегчается, если часть платформ постоянно находится на поверхности океана. Эти платформы могут использовать спутниковые навигационные системы, обеспечивающие высокую точность определения места, и служить опорной базой для определения положения подвижных АИП. Однако последние и в этом случае должны располагать информацией о положениях других аппаратов для согласования маршрутов и предотвращения столкновений в зоне действия АСОИ. Необходима, следовательно, некая локальная навигация, которая может быть реализована с помощью гидроакустических средств.

Подсистема связи. Реальное значение АСОИ существенно возрастает, если обеспечить связь между измерительными

платформами, которыми могут быть буи, подводные аппараты и иные устройства. Это позволяет координировать их взаимодействие при осуществлении измерений в районе того или иного океанского процесса. Например, легко себе представить распределенную гидроакустическую антенную систему, составленную из объектов АСОИ, конфигурация которой задается из центра, а предварительная обработка данных производится на месте, поскольку обеспечивается связь между объектами (узлами сети). Необходимо, разумеется, связь базового АИП с удаленным пользователем или оператором. При больших дальностях неизбежно применение спутниковых систем связи. В других случаях можно использовать различные средства радиосвязи, включая сотовую телефонную связь [11].

Движение. Как говорилось выше, методы приведения в движение подводных аппаратов и эффективность этих методов – важные проблемы для концепции АСОИ. Для большинства реальных задач, выполняемых АСОИ, характерна значительная длительность операции. Это побуждает рассматривать наряду с традиционными и новые способы формирования импульсивной силы.

Энергия. Важнейшим ограничительным фактором для любых автономных платформ является доступный резерв энергии. С одной стороны, для увеличения времени автономной работы желательно увеличить объем источника энергии, с другой, наоборот, уменьшить с целью снижения габаритов и стоимости аппарата. Поэтому при разработке АСОИ необходимо рассматривать как методы сохранения энергии на борту, так и методы получения ее из окружающей среды. Другой особенностью АСОИ, связанной с энергообеспечением, являет-

ся необходимость стыковки подвижного аппарата с базовой платформой для зарядки вторичного источника. Для этого требуется создание надежных устройств стыковки в воде, возможно, при высоком давлении и организации процессов инициации, управления и завершения зарядки в автономном режиме.

Конечно, имеются другие технологии, которые требуются для АСОИ, но приведенный выше обзор наиболее существенных задач, исследуемых в настоящее время многими организациями, лишь подчеркивает факт, что АСОИ является пока концепцией системы и требует внимательного учета современного состояния различных технологий, касающихся ее подсистем.

Инфраструктура, необходимая для эффективного взаимодействия элементов АСОИ. АСОИ представляет собой многослойную разветвленную систему со сложными связями и взаимодействием ее элементов (АИП). Поэтому создание и развитие системы определяется как функциональными свойствами подсистем различных уровней, так и инфраструктурой системы, под которой мы будем подразумевать технические и программные средства обмена информацией, выработки и принятия согласованных решений с участием центра или без такового. Отдельные АИП, входящие в состав АСОИ, могут иметь различное инструментальное оснащение от простейшего набора датчиков до многофункциональных измерительных систем и систем управления с элементами искусственного интеллекта. Очевидно, что и рабочие миссии АИП могут оказаться существенно разными. Вероятно, в этих условиях уровень самостоятельности объектов АСОИ должен варьироваться в неко-

торых пределах. Иными словами, образуется некоторая иерархическая структура, в вершине которой находится удаленный центр управления. При этом структура АСОИ должна быть гибкой и допускать эпизодическую реконфигурацию. Например, участвующие в работе АНПА должны время от времени пополнять запас энергии, следовательно, состав АСОИ неизбежно будет меняться. Удаленный центр управления, разумеется, должен располагать возможностью, во-первых, получать полную информацию о работе АСОИ и анализировать ее, во-вторых, передавать команды управления. При значительном удалении центра от района работ трудно рассчитывать на непрерывную связь, и автономное управление АСОИ приобретает исключительно большое значение.

Интересна реализация АСОИ при использовании в качестве АИП солнечных АНПА. Такие аппараты должны регулярно всплывать в дневное время для зарядки аккумуляторов. В это же время должна производиться связь с удаленным центром управления или пользователем. После анализа принятых данных оператор может откорректировать или полностью заменить программу выполнения миссии. Работа полноценной АСОИ возможна при использовании группы согласованно действующих АИП. Это предоставляет уникальные возможности, но одновременно требует решения проблем, связанных с таким полуавтономным управлением группой автономных объектов. Задача сводится к управлению многими АНПА с ограниченными вычислительными ресурсами и ограниченными возможностями связи (ориентировочно, один-два раза в сутки), цель которых – согласованно провести сбор океанографических дан-

ных. Стратегия такого полуавтономного управления должна давать возможность пользователю собрать и проанализировать данные, модифицировать и разослать некоторому числу взаимодействующих аппаратов информацию, необходимую для управления их действиями при выполнении задания. Стратегия управления должна быть четко определена, выработана программная информация, соответствующая данной стратегии, обеспечено функционирование интерфейса, позволяющего пользователю взаимодействовать с АИП на базе этой информации.

Если проанализировать рассмотренные выше два случая, то видно, что периодичность связи оператор–АИП может изменяться в широких пределах. В случае АСОИ, в которой имеются базовая платформа и связь ее с пользователем, последний может обмениваться информацией с любым АИП практически непрерывно с задержкой, обусловленной лишь ограниченностью гидроакустического канала связи. Как показывает опыт, такие задержки имеют порядок минут. В случае применения удаленной группы САНПА, не содержащей базовой платформы, как уже говорилось, периодичность связи может быть низкой. В обоих случаях аппараты должны быть способны работать автономно на достаточном отрезке времени. Предшествующий опыт показывает, что проведение сложных работ в океане возможно и при значительных задержках в передаче команд управления. Впрочем, АНПА изначально были ориентированы на длительную автономную работу. Организация их коллективных действий, разумеется, выдвигает специфические требования. По существу, возникает задача применения супервизорного управления, широко

используемого в робототехнике. Такое управление предоставляет пользователю симуляцию внешней среды, в которой работает объект управления, и его ожидаемого движения в этой среде. Надежность и точность супервизорного управления будет определяться соотношением точности предсказания поведения системы во времени и периодичностью вмешательства оператора.

Проблема состоит в том, чтобы создать стратегию полуавтономного управления, которая даст возможность пользователю управлять множеством сотрудничающих АИП при сравнительно редкой возможности связи (от нескольких часов до суток). Эта работа еще не выполнена к настоящему времени, но исследователи понимают проблему и ведется поиск возможных решений.

Характеристики АСОИ

По современным представлениям использование множества кооперирующих АИПА и иных платформ с целью получения данных в океане, будь они буйковыми станциями или подвижными аппаратами, может быть описано рядом характеристик системы.

Мобильность и масштаб АСОИ. Разнообразие явлений в океанах, сущности, форм, мас-

штабов и подвижности порождают и разнообразие в подходах к методам изучения этих явлений. Легко представить себе, что такая фундаментальная проблема в океанографии, как циркуляция водных масс в океане, может быть разделена на задачи, для решения которых в одних случаях достаточно стационарная система сравнительно малого масштаба, в других – подвижная с большим охватом области, в которой происходит исследуемое явление. Например, в первом случае речь может идти о замерах течений в сравнительно узком проливе, во втором – об исследовании жизненного цикла крупномасштабных вихрей. Таким образом, АСОИ можно характеризовать их способностью отслеживать подвижные явления, т. е. мобильностью и масштабом, отражающим пространственные размеры области распределения объектов АСОИ, каковыми являются АИП (рис.2).

АСОИ – открытые системы. Они существуют в непредсказуемой и изменяющейся подводной среде. Априорное знание этой среды ограничено вообще, а задача АСОИ в том и заключается, чтобы формировать высококачественное знание среды.

Компоненты системы АСОИ – аппаратные средства АИП – реальны и выполняют свои

функции с погрешностями и со случайными сбоями. В составе системы могут происходить изменения, даже во время выполнения одного задания. АИП может отказать и, следовательно, выйти из состава системы временно или постоянно. Система должна быть способна вводить новые АИП как для подмены, так и для увеличения возможностей системы за счет ввода новых измерительных платформ, если они становятся доступными или необходимыми вследствие изменения задания.

Открытый характер системы АСОИ накладывает несколько важных требований. Во-первых, способы управления и связи должны быть достаточно гибкими, чтобы изменяться в то время, когда изменяется состав системы. Во-вторых (относится и к первому случаю), информация об элементах, составляющих систему, и их возможности и, следовательно, возможности системы в целом не должны быть жестко закодированы. Перекодировка, например, может понадобиться при возникновении запроса: какие из присутствующих АИП подлежат замене во время выполнения задания, каковы функциональные возможности индивидуальных АИП. В-третьих, программное обеспечение АСОИ нуждается в протоколе для выбывающих АИП, и АИП, подменяющих выбывшие. В-четвертых, АСОИ должна быть способна распознать ситуацию, когда необходима реконфигурация, т. е., например, когда состав (число АИП) изменяется. Наконец, в-пятых, методы управления и связи АСОИ должны обеспечивать распознавание нечеткой и неполной локальной (возможно, и глобаль-

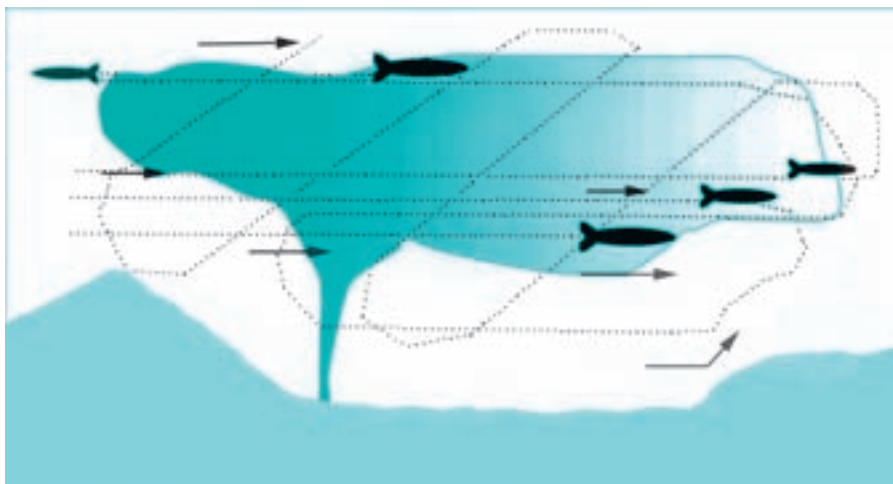


Рис. 2
Схематическое изображение процесса обследования вод в районе гидротермы с помощью группы АИПА

ной) информации и адекватную реакцию на непредвиденные события, включая отказы.

Задачи АСОИ имеют долговременный характер. Здесь возникает несколько вопросов. Во-первых, критическим фактором является то, что система полуавтономна. Включение человека в цикл на длительное время увеличивает стоимость системы, кроме того, заставляет оператора выполнять крайне утомительную задачу. Во-вторых, в системе могут возникать сбои и другие непредвиденные события, и, чем длительней задание, тем, естественно, больше их число. В-третьих, должен детально планироваться расход энергии. В-четвертых, АИП время от времени будут входить в систему и оставлять ее вследствие возникновения сбоев, ротации оборудования для профилактики и добавления новых возможностей и платформ. В-пятых, программа миссии может корректироваться или изменяться по мере того, как пользователь, анализируя поступающие данные, будет вникать в существо задачи.

Для решения задач АСОИ необходима связь между АИП. Связь необходима по двум причинам. Во-первых, данные часто нужны в реальном времени либо для удаленного пользователя, либо для использования другими АИП для осуществления адаптивного управления группой АИП. Вторая причина обусловлена тем, что необходимо управлять и координировать АИП. Связь в АСОИ особенно важна при осуществлении работы «по событию» и адаптивном управлении процессом измерений. Чтобы поддерживать связь, АИП должны быть оборудованы системами телеметрии. Кроме того, будут необходимы протоколы для установки и обслуживания сети подводной связи и для взаимодействия с другими сетями, к

которым обращается АСОИ или пользователи. Протоколы должны быть достаточно гибкими, чтобы справиться с открытым характером системы.

Задачи АСОИ требуют, чтобы АИП сотрудничали. Имеются два общих способа управления функцией АСОИ: с централизованным или с распределенным управлением. При централизованном управлении уровень интеллекта, требуемый в каждом АИП, минимален, так как оператор управляет всеми АИП из центрального поста. По мере увеличения числа АИП и длительности задачи централизованное управление становится затруднительным, если не невозможным. В этом случае процесс управления АИП должен быть распределен некоторым способом. Распределенное управление позволяет преодолеть три недостатка централизованного подхода. Во-первых, в правильно организованной распределенной системе одиночный сбой не может привести к сбою всей системы, лишь ограничит возможности полной системы, но не выведет ее из строя. Во-вторых, локальная обработка информации и локальная выработка решения, основанного на этой информации, снижают требования на производительность канала связи. В-третьих, скорость принятия решений возрастет за счет распределения. Более быстрые решения в реальной системе могут оказаться лучшими и обеспечить более высокую живучесть АИП.

Алгоритмы и методы, необходимые для выполнения эксплуатационных целей

Цель концепции АСОИ состоит в том, чтобы обеспечить инструментальные средства и методы, требуемые для эффективного отображения океанской изменчивости. Чтобы достичь этой цели, модели изменчивос-

ти должны легко воспринимать информацию АСОИ, которую нужно использовать для решения задачи. Предполагается также, что выходные параметры модели могут быть подтверждены новыми данными в рамках методов моделирования. Таким образом, процесс сбора данных управляется моделью, требующей эти данные, а последние позволяют уточнить модель. Эффективная реализация концепции АСОИ дает возможность экономично собирать пространственные параметры вод в океане с высоким разрешением. Внутренним свойством концепции системы является высокая надежность, доступ к полученным данным географически рассеянным пользователям.

Методы выполнения сбора океанографических данных могут быть разделены на три типа: **традиционный**, в котором измерения производятся в одном заданном районе регулярно в течение длительного периода времени; **управляемый по событиям**, в котором до возникновения некоторого события производятся лишь ограниченные измерения; **адаптивный**, в котором стратегия производства измерений корректируется самой системой на основании распознавания трендов в текущих данных. Универсальная АСОИ должна быть способна использовать все три метода по одному или одновременно.

Традиционный метод. В общем случае имеется потребность в сборе данных в некотором районе длительный период времени. Обычно это делается с помощью буйковых станций, имеющих связь с береговой базой, где данные анализируются и обобщаются. Первым шагом в практическом использовании концепции АСОИ является добавление к буйковой станции ряда донных станций и далее АНПА, работающих по жесткой программе.

**Метод измерений по со-
бытию.** Часто возникает необ-
ходимость производить деталь-
ные измерения лишь в том слу-
чае, когда обнаруживается не-
которое событие, представляю-
щее особый научный интерес.
Проектом с такой спецификой
является *CONVEX (Convection
Experiment) program*. Этот про-
ект связан с изучением кон-
вективного опрокидывания
столба воды (апвеллинг) в арк-
тических районах, процесса,
создающего существенное воз-
действие на глобальные изме-
нения климата. В проекте
CONVEX будут исследоваться
физические процессы опроки-
дывания и перемешивания при
использовании сочетания моде-
лирования и непосредствен-
ных измерений. Основным из-
мерительным устройством яв-
ляется буйковая станция с
гирляндой датчиков темпера-
туры и электропроводности,
профилограф скорости тече-
ний и донный датчик давле-
ния. Хотя в проекте будут

применяться лучшие современ-
ные приборы, будет невозмож-
но собрать всю информацию о
неоднородности конвективных
течений, что крайне желатель-
но для четкого понимания их
формирования. Это обусловлено
тем, что неподвижная гирлян-
да датчиков если и может за-
фиксировать образование не-
однородностей, но не может по-
лучить данные об окружающем
пространстве, достаточно деталь-
ные, чтобы исчерпывающе оха-
рактеризовать структуру не-
однородностей.

Адаптивный метод. Значе-
ние концепции АСОИ заклю-
чается в том, что она позволя-
ет организовать надлежащее
пространственное распределе-
ние датчиков в большой обла-
сти в районе изучаемого процес-
са. Наряду с этим датчики мо-
гут выполнять измерения син-
хронно с частотой, наиболее
приемлемой для понимания
изучаемого явления. Особенно
важно то, что возможности
связи в концепции АСОИ по-

зволяют получать информацию
от множества распределенных
датчиков АИП. Приходящие
данные подвергаются анализу
для проверки того, насколько
корректен режим измерений.
Если выясняется, что парамет-
ры, определяющие режим из-
мерений, неудовлетворитель-
ны, параметры корректируют-
ся, и датчики группируются
так, чтобы более эффективно
получать нужную информа-
цию. Способность адаптировать
стратегию измерений, основан-
ная на самих полученных дан-
ных, возможно, является наи-
более важной особенностью
концепции АСОИ. Методы и
алгоритмы функционирования
адаптивной системы находят-
ся в настоящее время в стадии
разработки. Когда измеритель-
ные сети типа АСОИ достиг-
нут стадии практического при-
менения, новые стратегии сбо-
ра данных позволят получать
информацию в объеме и с ка-
чеством, недостижимыми в
настоящее время.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автономные обитаемые подводные аппараты / под общ. ред. акад. М.Д. Агеева. Владивосток: Дальнаука, 2000. 272 с.
2. Агеев М.Д. Управление распределением энергии при работе АНПА с питанием от солнечных батарей // Морские технологии. Владивосток: Дальнаука, 1996. Вып. 1. С. 21–36.
3. Агеев М.Д., Горнак В.Е., Хмельков Д.Б. О разработке экспериментального образца солнечного автономного подводного аппарата // Вестн. ДВО РАН. 1998. № 3. С. 3–11.
4. Ageev M.D. An Analysis of Long-Range AUV, Powered by Solar Energy // OCEANS'95 Conference. San Diego: IEEE. 1995.
5. Ageev M. D., Jalbert J. C., Blidberg D. R. Description and Analysis of a Solar Autonomous Underwater Vehicle // MTS Journal. Winter 1998-99. V. 32, N 4.
6. Ageev, M.D., Blidberg, D.R., Jalbert, J., Melchin, C.J, Troop, D.P. Results of the Evaluation and Testing of the Solar Powered AUV and its Subsystems // Proc. of 11th International Symposium on Unmanned Untethered Submersible Technology, Durham, NH, August 23-25, 1999.
7. Blidberg D.R., Jalbert J.C., Ageev M.D. Experimental Results; The AUSI/IMTP Solar Powered AUV Project // Proc. of the Ocean Community Conference'98. Baltimore. Nov. 16–19. 1998.
8. Curtin T., Bellingham J., Catipovic J., Webb D. Autonomous oceanographic sampling networks // Oceanography. 1993. V. 6, N 3.
9. Hitchcock G. L. et al. A GPS Tracked Surface Drifter with cellular Telemetry Capabilities // MTS Journal. June 1996.V. 30, N 2.
10. Jalbert J. C. Irazoqui-Pastor P., Miles S., Blidberg D. R., Darwin J., Ageev M. D. AUV Technology Evaluation and Development Project // Proceedings of the 10th International Symposium on Unmanned Untethered Submersible Technology. Durham, 1997. P. 75–87.
11. Stommel H. The Slocum Mission // Oceanography. April. 1989.