

МНОГОУРОВНЕВАЯ РАСПРЕДЕЛЕННАЯ КОНТРОЛЬНО-АВАРИЙНАЯ СИСТЕМА АНПА

Г.Д. Елисеенко, А.В. Инзарцев, А.М. Павин

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем морских технологий ДВО РАН

Рассматриваются концепция и реализация контрольно-аварийной системы (КАС), которая направлена на повышение живучести автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) различного класса и назначения. Задача повышения живучести АНПА решается одновременно по нескольким направлениям: дублирование программных и аппаратных средств, а также обеспечение их взаимного согласованного (не противоречивого) функционирования. КАС создана на базе иерархической декомпозиции решаемых задач и включает в себя несколько уровней программного обеспечения, а также аппаратную часть. Программная часть КАС выполняет контроль целостности программного обеспечения, предстартовую диагностику, мониторинг ошибок и аварий. Аппаратная часть КАС обеспечивает возможность обнаружения и подъема АНПА в случае выхода из строя его вычислительной системы. Ключевой особенностью предлагаемого подхода является «относительно независимое» поведение систем в различных режимах работы (как штатных, так и аварийных), а также способность КАС в максимальном объеме выполнять заложенную программу-задание (миссию). Рассматриваются различные сценарии поведения АНПА во время возникновения нештатных ситуаций.

ВВЕДЕНИЕ

Повсеместное использование автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) предъявляет особые требования к его контрольно-аварийной и диагностической системе (КАС). АНПА является сложным дорогостоящим техническим объектом, способным длительное время функционировать автономно без связи с человеком-оператором. Поэтому основной задачей КАС является максимизация вероятности обнаружения и извлечения АНПА из воды после завершения миссии (штатного или аварийного). Это требование становится особенно актуальным при работе АНПА в сложных условиях, например, подо льдами в приполярных районах или для обеспечения большой автономности [1]. Для определенности далее под «предстартовой диагностикой» будем понимать последовательность процедур, выявляющих программно-аппаратные неполадки и сбои до запуска подводного робота. В свою очередь, под «контрольно-аварийной системой» в данной работе понимается вся совокупность программно-аппаратных решений, направленных на выявление и устранение неисправностей в процессе функционирования подводного робота.

В основу КАС, разработанной в ИПМТ ДВО РАН, положен принцип иерархической декомпозиции за-

дачи детектирования аварийных и предаварийных ситуаций, выполняемой во время всего цикла функционирования АНПА (рис. 1). Задача детектирования разбивается на ряд относительно независимо решаемых подзадач, при этом каждое решение направлено на достижение следующих целей:

1. Предотвращение запуска миссии (программы-задания) АНПА в случае наличия на борту аварийных или предаварийных ситуаций, а также вследствие нарушения оператором алгоритма выполнения предпусковых процедур.

2. Продолжение миссии в случае возникновения на борту аварийных ситуаций до тех пор, пока это возможно (с учетом безопасности плавания) с применением резервных средств навигации, связи и движительно-рулевого комплекса.

3. Аварийное завершение миссии и всплытие, если невозможно выполнение предыдущего пункта или выполнение миссии нецелесообразно (ввиду, например, неработоспособности используемого поисково-обследовательского оборудования). Под всплытием аппарата понимается не только обычное перемещение к кромке воды, а также «интеллектуальное» управление с целью обнаружения выхода на поверхность в сложных ледовых условиях, но и

¹ 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, 5а. Тел.: +7 (423) 243-25-78.
E-mail: eliseenko@marine.febras.ru, inzar@marine.febras.ru, pavin@bk.ru



Рис. 1. Циклограмма запуска и использования АНПА

использование всех работоспособных на данный момент бортовых средств удержания аппарата на поверхности.

4. В случае невозможности выполнения первых двух пунктов осуществляется процедура «консервации» АНПА (низкоуровневое аварийное состояние, см. рис. 1), предполагающая целый ряд действий, таких как: сброс аварийного балласта, выключение всех энергоёмких систем и подачу питания исключительно на аварийные средства навигации и связи.

■ Концепция построения распределенной КАС

При разработке распределенной контрольно-аварийной системы предъявлялись особые требования к совместному непротиворечивому поведению ее уровней. Основой для создания системы послужил многолетний опыт разработки и эксплуатации нескольких десятков АНПА различного класса и назначения.

Основу разработанной КАС составляют два уровня (рис. 2), которые можно условно назвать «верхним» (программным) и «нижним» (аппаратным). На

верхнем уровне КАС решаются задачи, требующие функционирования программного обеспечения на вычислителе с операционной системой (проведение диагностических процедур, контроль целостности программного обеспечения, управление аппаратом в аварийной ситуации и т.п.). В свою очередь, нижний (аппаратный) уровень характеризуется доступом непосредственно к устройствам АНПА, и его алгоритмическая составляющая реализована на базе микроконтроллеров. Одной из его задач является слежение за работоспособностью верхнего уровня.

Взаимодействие уровней КАС выстроено таким образом, чтобы при отказе одного из уровней другой уровень мог вмешаться и продублировать (или переопределить) действия отказавшего уровня. Примером может служить вмешательство «аппаратной КАС» во время автономного функционирования робота. Переход в «низкоуровневое аварийное состояние» (см. рис. 1) производится при длительном отсутствии сообщений о текущей стадии миссии от КАС верхнего уровня (рис. 2). Отсутствие таких сообщений озна-



Рис. 2. Уровни контрольно-аварийной системы

чает неработоспособность системы управления и, в том числе, КАС верхнего уровня. При этом производится необратимое действие – обесточивание большинства энергоемких систем. В число таких систем входят движительно-рулевой комплекс АНПА, обзорно-поисковые средства и бортовой вычислитель, решающий задачи по управлению АНПА. Техническая реализация подобного поведения осуществляется путем отключения контроллером основной линии питания (рис. 2 – зеленая стрелка) и переводом всей имеющейся энергии на линию аварийного питания (рис. 2 – красная стрелка).

■ Аппаратное и алгоритмическое обеспечение КАС нижнего уровня

Можно выделить три группы систем АНПА, обеспечивающих жизнеспособность АНПА в аварийных ситуациях:

1. Комплекс радиосредств и системы спутниковой связи в комбинации с глобальной навигационной спутниковой системой (ГНСС) для определения координат аппарата на поверхности.

2. Комплекс гидроакустических средств (в комбинации с датчиком глубины), необходимых для определения координат АНПА во время нахождения аппарата в подводном состоянии.

3. Система сброса аварийного балласта и/или система регулирования плавучести, предназначенные для обеспечения необходимой плавучести во время выполнения миссии и для обеспечения максимальной плавучести во время штатного или аварийного всплытия.

В аппаратах ИПМТ ДВО РАН, созданных в начале 2000-х годов [2], согласованная работа систем спасения организована на базе бортовой сети, использующей протокол RS-485. Сеть предназначена для централизованного обмена данными между физически распределенными подсистемами АНПА в аварийном режиме. Таким образом, при переходе АНПА в «низкоуровневое» аварийное состояние специализированный микроконтроллер осуществляет централизованное управление всеми перечисленными выше устройствами. Такой подход имеет ряд недостатков:

1. Наличие единственного микроконтроллера (вычислитель КАС нижнего уровня, который может перестать функционировать), связанного со множеством периферийных устройств через уникальные платы-преобразователи.

2. Наличие физической информационной линии между бортовым оборудованием и микроконтроллером КАС, которая может быть повреждена.

3. Различные реализации режимов «штатной» и «аварийной» обработки данных (штатно – с подсистемами общаются драйверы системы управления, а аварийно – аналогичную работу выполняет микроконтроллер КАС), что предполагает реализацию одного и того же функционала различными средствами.

В настоящее время в связи с развитием и миниатюризацией электронных комплектующих становится понятным, что проще и надежнее иметь на борту дубликаты некоторых сенсорных устройств, которые позволяют обеспечить резервирование и отказаться от горизонтальных связей между подсистемами. Например, наличие отдельных ГНСС-приемников в системах радио- и спутниковой связи позволяет создать независимые подсистемы передачи данных с координатами АНПА на пост оператора (рис. 3). Аналогично, в гидроакустическую навигационную систему (ГАНС) технологически проще добавить

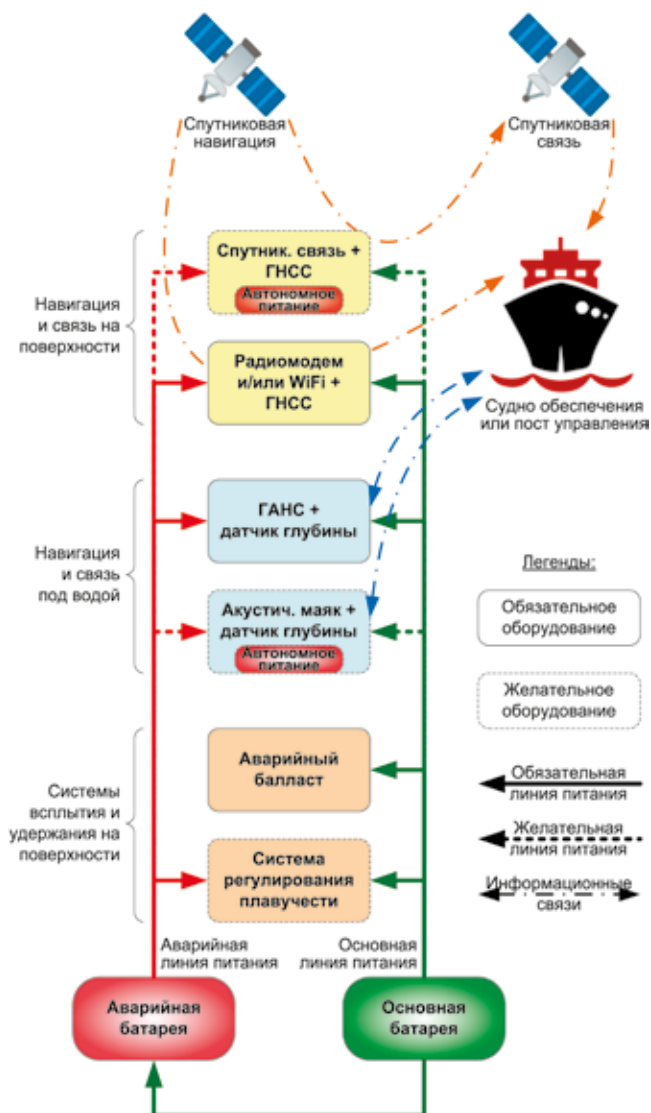


Рис. 3. Схема взаимодействия аварийно-спасательного оборудования АНПА

датчик глубины с целью автономного вычисления координат АНПА, нежели вести физическую линию от существующего датчика и организовывать совместный доступ к устройству со стороны нескольких потребителей. Кроме того, подобный подход позволяет иметь резерв критически важных сенсоров при работе АНПА.

При создании аварийных подсистем (рис. 3) использовался следующий подход:

1. Каждая из подсистем запитана от основной и аварийной силовых линий и/или от собственного автономного источника. К системам с автономным питанием следует отнести: систему спутниковой связи со встроенным ГНСС-приемником и автономный маяк-излучатель или маяк-ответчик. Такие системы характеризуются минимальным потреблением энергии в режиме редкого излучения. Например, спутниковая система навигации и связи Iridium360° RockStar PRO [3] со штатным аккумулятором 5300 мАч способна автономно отработать до 3 недель при отправке координат каждые 15 минут, автономный маяк-излучатель Teledyne ALP-365/EL Pinger [4] позволяет автономно работать до 180 дней.

2. Штатный и аварийный режимы работы перечисленных подсистем принципиально одинаковы, что увеличивает надежность комплекса в целом. При технологических трудностях (невозможность прокладки отдельных линий питания и связи на малогабаритных АНПА) некоторые из подсистем могут функционировать в состоянии с ограниченной функциональностью. Например, система спутниковой навигации и связи может представлять собой малогабаритный спутниковый трекер с автономным питанием (такое решение было применено на АНПА ММТ-3500).

3. Система отдачи аварийного балласта и система регулирования плавучести функционируют с использованием традиционного для ИПМТ ДВО РАН принципа: при пропадании основного или аварийного питания должен быть обеспечен максимум плавучести (за счет сброса балласта и перевода системы регулирования плавучести в соответствующее состояние), поскольку дальнейшее управление аппаратом невозможно. Такой подход позволяет обойтись без централизованного управления устройствами и обеспечивает максимальную надежность комплекса в целом.

Выбор оборудования АНПА и проектирование аварийных подсистем осуществляется таким образом, чтобы обеспечивалась одновременная независимая работа устройств без организации их взаимного информационного взаимодействия. Такой выбор на порядок увеличивает надежность функционирования АНПА в аварийных ситуациях. Однако при таком де-

централизованном подходе необходимо исключить взаимное влияние акустических средств при их одновременной работе. Для этого необходимо предусмотреть:

разнесение по частотам системы ГАНС и аварийного маяка-излучателя;

редкое и крайне непродолжительное излучение аварийного маяка;

выбор периодов излучения обеих подсистем таким образом, чтобы минимизировать количество коллизий;

использование аварийного маяка-ответчика вместо маяка-излучателя;

использование схемы запрос-ответ, где ведущим является оборудование поста оператора (такой подход применялся при разработке АНПА ММТ-3500).

Практика показала, что ряд существующего на рынке акустического оборудования может успешно функционировать совместно и независимо, например [4, 5].

■ Стадии функционирования подводного робота

Реализация контрольно-аварийной системы АНПА тесно связана с приведенными ниже этапами функционирования робота (см. также рис. 1 выше):

1. Выключенное состояние. АНПА обесточен и не функционирует. Перевод аппарата в это состояние производится путем отключения питания по основной и аварийной линиям. Переход во включенное состояние может осуществляться только путем внешнего физического переключения. Различаются два варианта выключенного состояния:

1.1. АНПА полностью выключен и предназначен для транспортировки или хранения.

1.2. Обесточено все основное оборудование и вычислители, за исключением аварийно-спасательного оборудования. Выбор варианта зависит от способа перевода АНПА в выключенное состояние. Если переход был произведен аппаратной КАС (нижнего уровня), то аппарат находится в состоянии (1.2), если оператором с применением специального ключа, то в состоянии (1.1)

2. Включение и подготовка аппарата. Различаются несколько фаз включенного состояния АНПА:

2.1. Включение пассивного оборудования. В этом состоянии запитана большая часть оборудования, необходимого для функционирования АНПА как носителя. Выключенным остается поисково-обследовательское оборудование, а также специфическое

навигационное (преимущественно – акустическое) оборудование, которое по соображениям безопасности и минимизации энергопотребления не рекомендуется включать на долгое время на воздухе.

2.2. Включено все основное оборудование. В этом состоянии задействовано все навигационно-пилотажное, движительно-рулевое оборудование аппарата и другие устройства, использование которых в течение длительного времени на борту обеспечивающего судна или на суше нецелесообразно. В этот список не входят поисково-обследовательское оборудование, предназначенное для временного включения в миссии; а также акустические средства навигации и связи, функционирующие в режиме излучения исключительно в водной среде.

2.3. Диагностика. На этом этапе возможно активное включение всех устройств и подсистем АНПА, диагностирование которых возможно на суше. Ряд акустических излучающих систем могут включаться в режиме неполной мощности в целях безопасного функционирования на суше.

3. **Запуск миссии и буксировка.** На этой стадии происходят загрузка в аппарат маршрутного задания (миссии) и спуск аппарата на воду. При этом после касания воды АНПА автоматически переводится в режим поддержания на поверхности, что позволяет избежать непредвиденных ситуаций, когда обездвиженный аппарат находится на открытой воде.

4. **Рабочий этап (выполнение основной миссии).** Выполнение миссии продолжается вплоть до всплытия аппарата или до процедуры возвращения в доковую станцию, если таковая предусмотрена моделью использования АНПА. В рамках этой стадии могут выполняться несколько взаимоисключающих процессов управления [6, 7]:

4.1. Управление аппаратом в соответствии с маршрутным заданием.

4.2. Прерывание основной миссии в случае получения и выполнения команд телеуправления.

4.3. Прерывание перечисленных выше процессов в случае активизации и переход на управление от подпрограмм КАС.

4.4. Прерывание перечисленных выше процессов и досрочное завершение миссии.

5. **Завершение миссии и всплытие.** Стадия является последней в циклограмме запуска и использования АНПА, которая обрабатывается контрольно-аварийной системой верхнего уровня. Под всплытием (в широком смысле) подразумевается ряд действий, производимых системой управления АНПА и нацеленных на достижение конечного безопасного состояния АНПА. Примером таких конечных состояний являются:

5.1. Нахождение аппарата на поверхности моря (в т.ч. после безопасного выхода на водную поверхность в условиях ледовой обстановки).

5.2. Стыковка с подводной доковой станцией, судовым или береговым спускоподъемным устройством.

Переход между «выключенным» и «включенным» состояниями организован с применением аппаратных средств (электромагнитная чека или активная подача питания) с целью обеспечения надежности и независимости от состояния программного обеспечения системы управления. В свою очередь, переходы внутри «включенных» состояний осуществляются программно под руководством контрольно-аварийной системы верхнего уровня (см. рис. 2).

Переходы между состояниями (рис. 1 – зеленые прямоугольники и стрелки) формализованы с помощью матрицы переходов. Типичная матрица переходов для большинства АНПА обзорно-поискового класса представлена в таблице. Прочерками в таблице обозначены запрещенные и бессмысленные переходы (например, из какого-либо состояния в то же самое). Необходимо отметить, что приведенные в таблице состояния функционирования АНПА (называемые «стадиями миссии») являются базовым и

Матрица переходов КАС для аппарата ММТ-3500

Из – в	Подготовка (включение и подготовка аппарата)	Старт (запуск миссии и буксировка)	Миссия (основная миссия – рабочий этап)	Всплытие (завершение миссии)
Подготовка (включение и подготовка аппарата)	---	Оператор с разрешения КАС	---	Оператор
Старт (запуск миссии и буксировка)	Оператор	---	Оператор с разрешения КАС	Оператор
Миссия (основная миссия – рабочий этап)	---	---	---	Оператор или КАС
Всплытие (завершение миссии)	Оператор	Оператор с разрешения КАС	---	---

могут быть дополнены или заменены в зависимости от модели использования АНПА. Примером дополнительных стадий может служить стыковка АНПА с забортным спускоподъемным устройством, безкипажным катером или подводной доковой станцией [8, 9]. При этом реконфигурация контрольно-аварийной системы при добавлении или замене стадий миссии сводится к изменению матрицы переходов без изменения исходного кода КАС верхнего уровня. Технологически такое изменение представляет собой редактирование конфигурационного файла, содержащего описание, аналогичное таблице. Столь простое реконфигурирование объясняется логикой поведения КАС верхнего уровня, которая коротко может быть описана как «В зависимости от текущей стадии и наличия аварий осуществляй переход в соответствии с таблицей».

■ Алгоритмическое обеспечение КАС верхнего уровня

Предстартовая диагностика подводного робота

Основной целью предстартовой диагностики является проверка работоспособности всех систем АНПА до начала автономного выполнения миссии. Можно выделить две фазы проведения диагностики:

1. Пассивная фаза, характеризующаяся анализом данных всех подсистем АНПА на предмет наличия аварийных ситуаций.

2. Активная фаза, во время которой производится включение и выключение движительных механизмов и поисково-обследовательского оборудования.

Фаза пассивной диагностики начинается непосредственно после включения АНПА и загрузки программного обеспечения системы управления и продолжается в течение всего времени его функционирования (включая выполнение миссии). На основе анализа поступающих данных система диагностики и КАС реагируют на аварийные ситуации в зависимости от текущей стадии миссии. Согласно таблице на стадии «Подготовка» разрешен переход только в две стадии: «Старт» (оператором с разрешения КАС) и «Всплытие» (оператором). Данное правило означает, что КАС не позволит перейти к старту миссии, если присутствуют ошибки, но не запретит оператору перейти к завершению программы-задания и всплытию ни при каких обстоятельствах.

Активная фаза диагностики инициируется по команде оператора. Суть этой фазы заключается в рассылке всем подсистемам аппарата единого формализованного сообщения «Начать диагностику»

и ожидании модулем диагностики изменения состояния каждого модуля. Если каждый из модулей сообщит об успешном окончании диагностики, то диагностирование будет считаться завершённым. Такой подход позволяет отделить систему управления АНПА от конкретной реализации диагностических процедур и тем самым сделать диагностику единой с точки зрения организации программного обеспечения системы диагностирования. Реализация всех диагностических процедур находится в подсистемах АНПА. До тех пор пока активная фаза не проведена успешно для всех подсистем АНПА, модуль диагностики и КАС не позволят перейти в стадию миссии (согласно таблице).

Контроль целостности и мониторинг параметров системы управления

Обеспечение целостности программного обеспечения АНПА включает себя несколько взаимосвязанных задач:

1. Запуск программных модулей, контроль их наличия и работоспособности. Задача решается средствами операционной системы и путем отслеживания специфичных тактовых сообщений (heartbeat), которые посылаются каждым программным модулем системы управления и принимаются модулем контроля целостности.

2. Контроль версий программ и форматов обмена данными между модулями системы управления. Задача решается путем анализа содержимого тех же heartbeat-ов, содержащих идентификатор версии программы и контрольные суммы сообщений обмена данными.

3. Отслеживание основных параметров вычислителей, к которым относятся: загрузка центрального процессора, анализ объема потребляемой оперативной памяти, мониторинг остатка дискового пространства, температура центрального процессора и некоторые другие.

Основу мониторинга параметров КАС составляет таблица аварий, которая выстраивается на основе описания всех входных и выходных данных системы управления. Числовые параметры таблицы имеют установленные пределы (максимум и минимум), логические параметры и нумерованные списки имеют значения, которым соответствует нормальное, аварийное или предаварийное (предупреждение) состояния. Выход значений параметров за установленные пределы или появление предаварийного или аварийного значения ведет к инициализации программы-обработчика аварии, которая связана с определенной строчкой таблицы аварий.

Работа КАС регулируется файлом конфигурации, в котором содержатся списки игнорируемых и отключенных параметров, а также список возможных действий по каждой аварии (завершение миссии, пропуск фрагмента миссии, запуск агента-обработчика аварии и т.д.). Конфигурационный файл выстроен по принципу черных и белых списков, которые часто применяются в среде разработчиков программного обеспечения. Действием «по умолчанию» на любую аварийную и предаварийную ситуацию является завершение миссии – если миссия уже запущена. Если миссия еще не стартовала, то производится запрет перехода к стадии миссии (см. таблицу – ячейки таблицы выше диагональных элементов матрицы переходов). Действия КАС по любой из аварий можно переопределить на необходимые в данной модели использования АНПА. Аварии КАС подразделяются на две категории: требующие приостановки выполнения миссии и связанные с ее продолжением. В первом случае вместо миссии начинает функционировать программный агент КАС, выполняющий какие-либо действия (например, перезапуск инерциальной навигационной системы или проведение дополнительной обсервации при уменьшении точности координат, поступающих от навигационной системы). Второй случай может быть связан, например, с пропуском текущей задачи из-за невозможности ее выполнения. Кроме того, действия КАС в одной и той же аварийной ситуации могут зависеть от текущей стадии миссии (см. таблицу). По умолчанию все параметры отслеживаются на всех стадиях миссии, но при необходимости из конфигурации могут быть удалены определенные аварии для некоторых стадий (например, авария невозможности измерения скорости доплеровским лагом во время нахождения АНПА на суше).

Для того чтобы избежать случайных (ложных) срабатываний, каждый отслеживаемый параметр проходит фильтрацию по времени на базе внутреннего счетчика, который при аварийном значении параметра увеличивается на определенную величину и уменьшается – в противном случае. При превышении счетчиком заданного порогового значения активируется аварийная ситуация.

Алгоритм работы КАС (рис. 4) заключается в периодическом вызове функции проверки параметров на наличие аварийных значений. Сначала определяется текущая стадия миссии. При переходе на новую стадию все накопленные счетчики сбрасываются. Далее выявляются параметры, имеющие аварийные значения, путем перебора всех отслеживаемых величин. При обнаружении новой аварийной ситуации записы-

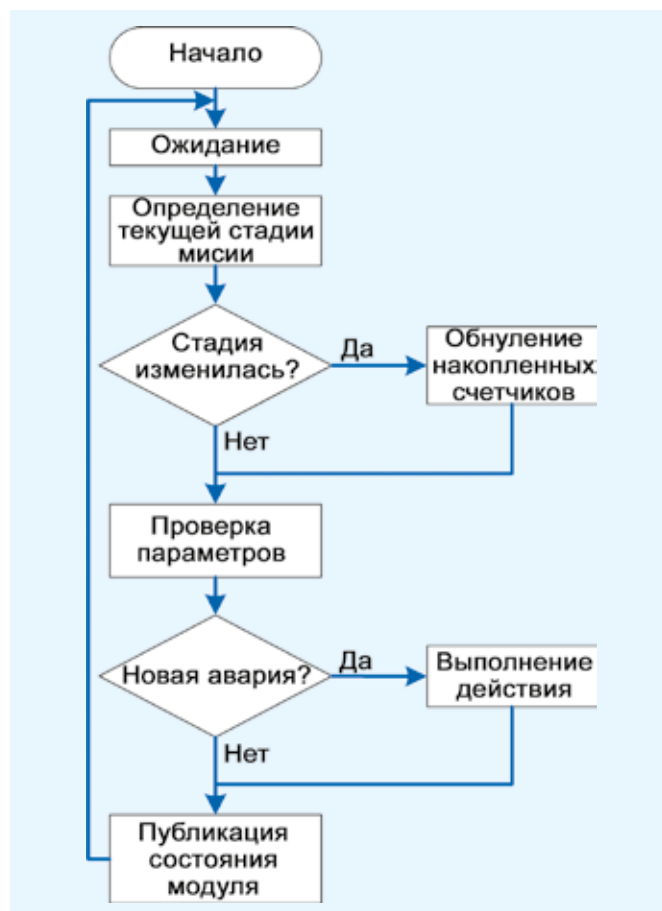


Рис. 4. Алгоритм работы модуля проверки параметров

вается сообщение в бортовой журнал и выполняется действие, соответствующее этой аварийной ситуации (завершение миссии, пропуск галса и т.д.). Таким образом, в КАС верхнего уровня обеспечивается циклический анализ всех поступающих из системы управления данных и выработка соответствующих реакций при наступлении аварийных ситуаций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная контрольно-аварийная система АНПА позволяет использовать ее на подводных аппаратах-роботах различного класса и назначения. Ключевой особенностью данной системы является относительно независимое поведение ее составных частей в штатных и аварийных режимах работы, что упрощает отладку АНПА и повышает надежность комплекса в целом. Преимущество предлагаемого подхода проявляется в способности КАС в максимальном объеме выполнять заложенную в аппарат программу-задание, даже при наступлении ряда малозначительных аварий. Система предназначена для функционирования на АНПА в условиях сложной на-

вигационной обстановки, в том числе в приполярных районах земного шара. Внедрение системы и проверка работоспособности производились на подводных аппаратах ММТ-300 и ММТ-3500.

Авторы работы выражают благодарность коллегам из ИПМТ ДВО РАН за активное участие в обсуждениях тематики статьи, многочисленных диспутах при выборе решений, а также за реализацию опи-

санных в работе решений и воплощение в аппаратах ММТ-300 и ММТ-3500.

Работа выполнена при поддержке гранта Министерства науки и высшего образования РФ 13.1902.21.0012 «Фундаментальные проблемы изучения и сохранения глубоководных экосистем в потенциально рудоносных районах Северо-западной части Тихого океана» (Соглашение № 075-15-2020-796).

ЛИТЕРАТУРА

1. Борейко А.А., Инзарцев А.В., Машошин А.И., Павин А.М., Пашкевич И.В. Система управления АНПА большой автономности // *Материалы XV Всерос. науч.-практ. конф. «Перспективные системы и задачи управления»*. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2020. С. 210–213. ISBN 978-5-9275-3549-1.
2. Инзарцев А.В., Львов О.Ю., Сидоренко А.В. Хмельков Д.Б. Архитектурные конфигурации систем управления АНПА // *Подводные исследования и робототехника*. 2006. № 1 (1). С. 18–30.
3. Спутниковый трекер Iridium RockStar. – URL: <https://sport-marafon.ru/catalog/sputnikovye-trekkery/sputnikovyuy-treker-iridium-rockstar/> (дата обращения: 16.11.2020).
4. ALP-365/EL Pinger – Acoustic Locators- Benthos. – URL: <http://www.teledynemarine.com/alp-365-el-pinger> (дата обращения: 16.11.2020).
5. S2C R 18/34 USBL communication and positioning device. – URL: <https://evologics.de/acoustic-modem/18-34/usbl-serie> (дата обращения: 16.11.2020).
6. Инзарцев А.В., Павин А.М., Багницкий А.В. Планирование и осуществление действий обследовательского подводного робота на базе поведенческих методов // *Подводные исследования и робототехника*. 2013. № 1 (15). С. 4–16.
7. Елисеенко Г.Д., Павин А.М. Программное обеспечение подготовки и сопровождения миссии АНПА. // *Подводные исследования и робототехника*. 2013. № 2 (16). С. 16–23.
8. Inzartsev A.V., Matvienko Yu., Pavin A.M., Vaulin Yu., Scherbatyuk A.F. Algorithms of Autonomous Docking System Operation for Long Term AUV // *Proceedings of 14th Int. Symp. on Unmanned Untethered Submersible Technology (UUST05)*. Durham, New Hampshire, USA, 2005.
9. Inzartsev A.V., Pavin A.M., Rylov N.I. Development of the AUV Automatic Docking Methods Based on Echosounder and Video Data // *Proceedings of 24th Saint Petersburg Int. Conf. on Integrated Navigation Systems*. Saint Petersburg, 2017. P. 178–184.

