

# Проблема разработки роботизированных комплексов для проведения радиационных измерений на промышленных объектах

М.Г. Жабицкий, С.Ю. Донецкий

**Аннотация**—Использование автоматизированных систем при работе в опасных условиях позволяет сохранить жизнь и здоровье человека, снизить операционные расходы при проведении подобного рода измерений, а так же значительно ускорить скорость выполнения таких работ. Существует актуальная проблема вывода из эксплуатации различных объектов атомной промышленности, важной частью этого процесса является проведение радиационных измерений на объекте и составление карты радиационного фона на основе полученных результатов. В настоящее время в России работы по измерению радиационного фона на объектах атомной промышленности выполняются, как правило, людьми без использования автоматизированных систем. В настоящей работе представлена концептуальная архитектура системы, которая могла бы решать подобную задачу. Система состоит из подвижных роботизированных платформы, организованной по модульному принципу, чтобы позволяет расширять функционал системы без полной ее переработки, обеспечивающих компонентов так же используемых на объекте при работе комплекса и единой информационной системы, агрегирующий данные измерений со всех измерительных комплексов. Единая информационная система может выполнять обработку и хранение полученных данных, предоставляет удобный интерфейс для работы с этими данными. В работе рассматриваются и предлагаются решения по многим проблемам, возникающим в ходе разработки подобных комплексов, такие как, определение абсолютного положения платформы в пространстве, системы связи и управления, сбор, отправка и обработка данных, вопросы контроля уровня загрязнения и дезактивации и другие. Приводятся различные варианты использования комплекса и разные сценарии взаимодействия измерительных модулей с единой информационной системой.

**Ключевые слова**—Радиационные измерения, роботизированные измерительные комплексы, объекты с повышенным радиационным фоном.

## I. ВВЕДЕНИЕ

Современный уровень развития робототехники позволяет решать широкий спектр задач.

Статья получена 14.06.2023

М. Г. Жабицкий – Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ), зам. Директора Высшей инженеринговой школы НИЯУ МИФИ, Россия, MGZhabitskii@mephi.ru

С. Ю. Донецкий – ООО "Прототип", Россия, doser2991@gmail.com

Роботы, от ставших давно привычными устройств, участвующих в конвейерной сборке, до только появляющихся такси, управляемых автопилотом, заменяют человеческий труд

во многих областях нашей жизни. Роботизация, которая раньше была уделом крупных компаний и требовала капитальных вложений, уже пришла на рынок потребительских товаров и сейчас сложно кого-то удивить домашними роботами, помогающими человеку в хозяйстве. Помимо непосредственного сокращения человеческого труда и, связанного с ним, сокращения операционных расходов, использование роботов позволяет обезопасить человека при проведении работ, связанных с повышенным риском. В России, в частности, такие роботизированные комплексы используются в МЧС при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. С примерами исследований в этой области можно ознакомиться в работах [1] и [2].

Существует, однако, еще одна область работ, связанных с повышенным риском, в которой роботы используются, но далеко не так распространены, это работы в зонах с повышенным радиационным фоном. Существует определенный научный интерес к данному вопросу, например в работе [3] рассматривается возможность использования робототехнических комплексов при выводе из эксплуатации энергоблоков РБМК-1000. В работе [4] так же рассматривается концептуальная возможность использования дистанционно управляемых роботов при выводе из эксплуатации и реабилитации ядерно- и радиоактивно опасных объектов. Однако, все вышеперечисленные работы находятся исключительно в теоретической плоскости.

У такого положения вещей есть несколько объективных причин. Первая причина заключается в том, что жесткое гамма-излучение может выводить из строя электронику, что делает непригодными к использованию обычных гражданских роботов в таких условиях. Для работы в подобных условиях необходимо, либо использовать радиационно-стойкую электронику, либо устанавливать специальную радиационную защиту. Вторая причина заключается в том, что подобные виды работ не являются такими массовыми, как другие задачи, при которых используются роботы. Под каждую конкретную задачу при работе в зоне с повышенным радиационным фоном потребовалось бы разрабатывать специализированного робота практически в единичном экземпляре. Учитывая высокую стоимость проектирования подобных систем, цена таких единичных экземпляров оказывается весьма высока. Одной из областей промышленности, в которой требуется использование роботов такого типа

фактически на постоянной основе, а не разово, является инспектирование и построение радиационных карт на предприятиях атомной промышленности. Эти работы требуется проводить, как в рамках плановых работ по контролю радиационной безопасности на предприятиях, так и в рамках вывода из эксплуатации объектов использования атомной энергии. В настоящее время эти работы в основном проводятся людьми в ручном режиме, без использования специализированных автоматических систем. Роботизация данного процесса позволила бы не только минимизировать влияния опасного излучения на организм человека, но и исключить человеческий фактор непосредственно при проведении радиационных измерений, ускорить сбор и обработку данных, а так же обеспечить их надежное хранение. Очевидное ускорение процесса измерений при использовании автоматизированных систем, позволило бы в будущем увеличить количество точек измерения и за счет этого получать многослойные карты радиационного фона, на основе которых можно было бы построить пространственную картину радиационного фона на объекте.

В данном разделе была кратко изложена проблематика и предпосылки к созданию специальных роботов для проведения измерений на объектах с повышенным радиационным фоном. В следующих разделах мы предложим конкретные технические решения и концептуальную схему системы, которая позволила бы решить данную задачу максимально эффективно, с учетом всех описанных в этом разделе факторов. Базовой технической идеей является интеграция технологий промышленного интернета вещей, робототехники, больших данных и цифровых технологических платформ.

## II. ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ РОБОТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

В предыдущем разделе были сформулированы некоторые проблемы, которые возникают при проектировании роботизированных систем для проведения радиационных измерений. Одна из них - чисто экономического характера. Задача, под которую разрабатывается система, не является типовой и массовой. В контексте ранее обсуждаемой проблемы, проведения измерений на предприятиях атомной промышленности, на разных объектах, к примеру, может требоваться проведение измерений разных видов излучения, либо же разных диапазонов излучения и требования в точности измерений могут отличаться. Иными словами, может потребоваться использование разных видов датчиков. Это лишь один из примеров, различные требования могут предъявляться практически к любой части роботизированной измерительной системы. Чтобы избежать необходимости создавать новый образец подобной системы под каждый новый объект с отличающимися требованиями, предлагается реализовать систему по модульному принципу. В модули предлагается выделить отдельные самостоятельные части системы, выполняющие одну или несколько функций, которые можно заменять или модифицировать. В такой парадигме расширение/изменение функционала системы достигается за счет

добавления/модификации/замены модулей. Таким образом можно получить универсальную систему, способную работать на любом объекте, при необходимости лишь изменяя функционал определенных модулей.

Еще одним требованием, сформулированным в предыдущем разделе, является возможность работы в зонах с повышенным радиационным фоном. Если декомпозировать эту задачу на составляющие, можно выделить следующие проблемы, которые предстоит решить. Во-первых, необходимо обеспечить возможность взаимодействовать и управлять системой оператором удаленно, чтобы исключить необходимость присутствия человека в опасной зоне для выполнения измерений. Во-вторых, необходимо обеспечить возможность перемещения комплекса и установленных на нем датчиков, чтобы можно было производить измерения уровня радиации в различных точках трехмерного пространства. На основе этих данных можно будет построить пространственную карту радиационного фона.

При проектировании системы, следует учитывать сложную геометрию промышленных помещений, в том числе наполненных разногабаритным оборудованием и необходимость проведения измерений даже в самых труднодоступных местах. Из этого вытекает потребность минимизировать габариты подвижной части измерительного комплекса.

Кроме того, придется обеспечить радиационную защиту всей электроники системы от вывода ее из строя жестким излучением, при этом, потребуются вывести из защищающего от излучения корпуса как радиационные датчики, так и специальные антенны, в случае использования беспроводного сигнала связи и сделать специальные герметичные шлюзы для заведения внутрь проводов.

Так же следует принять во внимание тот факт, что при работе на объектах с повышенным радиационным фоном, подвижная часть измерительного комплекса может быть загрязнена радиоактивными материалами. Соответственно, следует продумать конструкцию таким образом, чтобы ее легко было дезактивировать. Все элементы конструкции, которые подвергаются непосредственному загрязнению и облучению должны быть доступны для обработки дезактивирующими растворами, а элементы, которые подвергаются повышенному воздействию в ходе работы, например измерительная часть комплекса, должны быть легкоъемными, для обеспечений простой и эффективной дезактивации. Также должна быть обеспечена герметичность всех модулей для возможности внешней дезактивации с применением дезактивирующих растворов, как правило являющихся проводящими жидкостями (электролитами).

Следует предусмотреть в алгоритмах управления пространственным перемещением робота функцию остановки, либо предупреждения оператора (в зависимости от режима работы) о попытке перемещения в зону с опасным уровнем излучения.

Чтобы собранные данные не были потеряны вследствие выхода из строя электроники, измеряемые значения и системные логи необходимо передавать на удаленный сервер в режиме реального времени, при этом, канал

связи должен быть защищен, обеспечено шифрование. Для обеспечения автономной работы в радио изолированных помещениях необходимо обеспечить внутреннее архивирование данных на энергонезависимый носитель, расположенный во внутреннем контейнере с дополнительной радиационной защитой. При восстановлении связи после разрыва все накопленные, с последнего момента передачи, данные должны так же отправляться на сервер. Подобная схема с использованием передачи данных через сеть Internet рассматривается в работе [5]. Существуют работы, в которых для решения данной задачи используют и другие протоколы, например APRS, как в [6]. В связи с тем, что одной из целей ставится минимизация стоимости разрабатываемого комплекса, использование первого варианта представляется более предпочтительным в связи с его большей распространённостью. Следствием из этого компоненты для его реализации являются более доступными на аппаратном уровне, а на программном

Теперь, когда мы сформулировали все основные требования к системе, можно определить состав модулей и компонентов, которые должны входить в нашу систему.

В конкретных помещениях работают локальные роботизированные и/или телеуправляемые измерительные комплексы, которые перемещаются между помещениями в соответствии с планом-графиком выполнения радиационного обследования. Обследование отдельного объекта может проводиться как с применением одного комплекса, так и нескольких. Локальные роботизированные и/или телеуправляемые измерительные комплексы интегрированы в информационную систему радиационного обследования. Измерительные комплексы интегрированы напрямую с информационной системой при наличии интернета, либо через клиентское приложение на устройстве оператора, либо данные из них попадают в информационную систему путем загрузки вручную оператором, как показано на Рисунке 1. Более подробно схема взаимодействия будет рассмотрена в следующем разделе.

Локальные измерительные комплексы состоят из роботизированной мобильной платформа, построенной по модульному принципу и прочих компонентов обеспечения

Роботизированная мобильная платформа включает следующие модули:

- Модуль обработки данных платформы (локальный ЦОД);
- Модуль энергонезависимого хранения данных платформы (локальный ЦХД)
- Модуль связи (обмена данными) платформы;
- Модуль пространственных перемещений;
- Модуль управления перемещениями в телеманипулируемом и автономном режиме;
- Модуль радиационных измерений;
- Модуль позиционирования платформы в помещении;
- Модуль позиционирования датчиков относительно платформы;
- Модуль видеофиксации и пространственного картографирования;
- Модуль энергообеспечения платформы;

К компонентам обеспечения может относиться следующее:

- Устройство исполнения клиентского приложения;
- Wi-fi-повторители, сетевое коммутирующее оборудование;
- Зарядная станция;
- Якоря системы определения позиции платформы в пространстве;
- Подсистема контроля радиационного загрязнения роботизированных платформ и их дезактивации.

Архитектура отдельного локального измерительного комплекса представлена на Рисунке 2.

Объектовый сегмент информационной системы может быть построен на базе локальных проводных и беспроводных сетей передачи данных, и служит для формирования большого массива данных путем

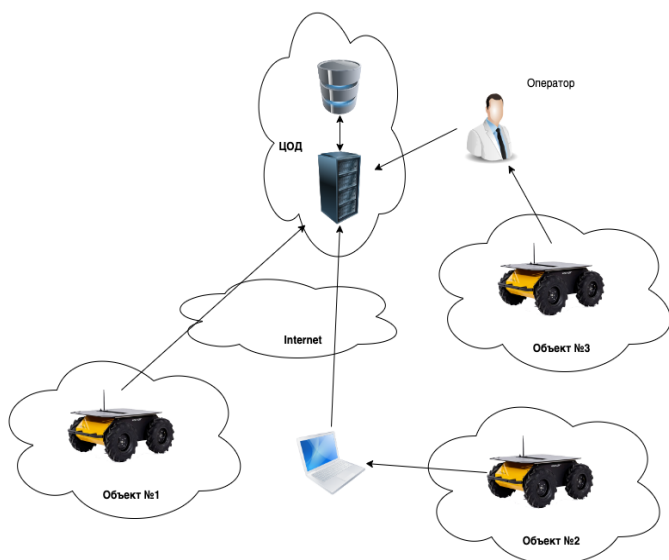


Рисунок 1. Архитектура взаимодействия измерительных комплексов с информационной системой

уровне легко найти множество готовых решений, которые можно будет переиспользовать.

Так как предполагается возможность управления оператором, в том числе линейным перемещением робота, необходимо обеспечить комплекс системой видеофиксации и выводить видеопоток для оператора вместе с другими показаниями датчиков, передаваемых системой.

Наконец, поскольку конечная задача состоит в том, чтобы наложить пространственную карту радиационного фона на физическую пространственную карту объекта, потребуется система позиционирования, которая позволит определять абсолютное положение робота в момент проведения измерений. Полезным было бы совмещение в одном устройстве функций радиационного контроля и трехмерного картографирования обследуемых помещений, однако в задача реверсивного картографирования для нас не является приоритетной.

интеграции потоков данных от одного или нескольких измерительных комплексов по результатам обследования многих помещений объекта. Кроме того, на нем может быть развернуто специализированное программное обеспечение для обработки и интерпретации массива данных по инженерно-радиационному обследованию объекта и подключены локальные и удаленные рабочие места специалистов, выполняющих эту обработку и интерпретацию. Также имеются шлюзы выгрузки информации с локальных измерительных комплексов в различных режимах. Могут быть реализованы режимы непрерывного подключения (при наличии технической возможности постоянного канала связи), режим периодического скачивания массивов информации (при периодическом выходе в зону функционирования каналов связи и подключения к ним), а в некоторых случаях и переноса информации на физических носителях. Объектовый сегмент ИС КИРО интегрируется с центральной информационной системой по стандартным каналам передачи данных, как правило через сеть Интернет с соответствующим обеспечением информационной безопасности.

Централизованная информационная система обеспечивает накопление наборов первичных и обработанных данных для совокупности объектов и проектов инженерно-радиационных обследований. В ее состав входит специализированное программное обеспечение, физические или облачные системы хранения и обработки данных с подключаемыми с различными правами доступа рабочими местами специалистов в области радиационных расчетов, вывода из эксплуатации объектов использования атомной энергии. Передача данных в систему осуществляется через шлюзы данных, как напрямую от локальных измерительных комплексов с различных объектов, так и интегрированных и частично преобработанных данных от объектовых сегментов информационной системы.

В следующем разделе сосредоточимся более подробно на каждом из модулей локального измерительного комплекса и их функционале. Затем перейдем к общему описанию работы системы.

### III. ОПИСАНИЕ МОДУЛЕЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Локальный измерительный модуль состоит из роботизированной мобильной платформы и обеспечивающей системы.

Опишем состав, назначение и функционал модулей роботизированной мобильной платформа.

#### A. Центральный модуль управления

Основной модуль, обеспечивающий управление и связывающий все модули в единую систему. Принимает и выполняет управляющие команды оператора, либо команды удаленного сервера, которые формируются на основе заранее составленного задания (автоматический режим работы).

Выполняет функцию локального web-сервера. Обслуживает запросы подключающегося клиента (оператора). Клиентское приложение для оператора в данном случае скачивается с web-сервера и исполняется

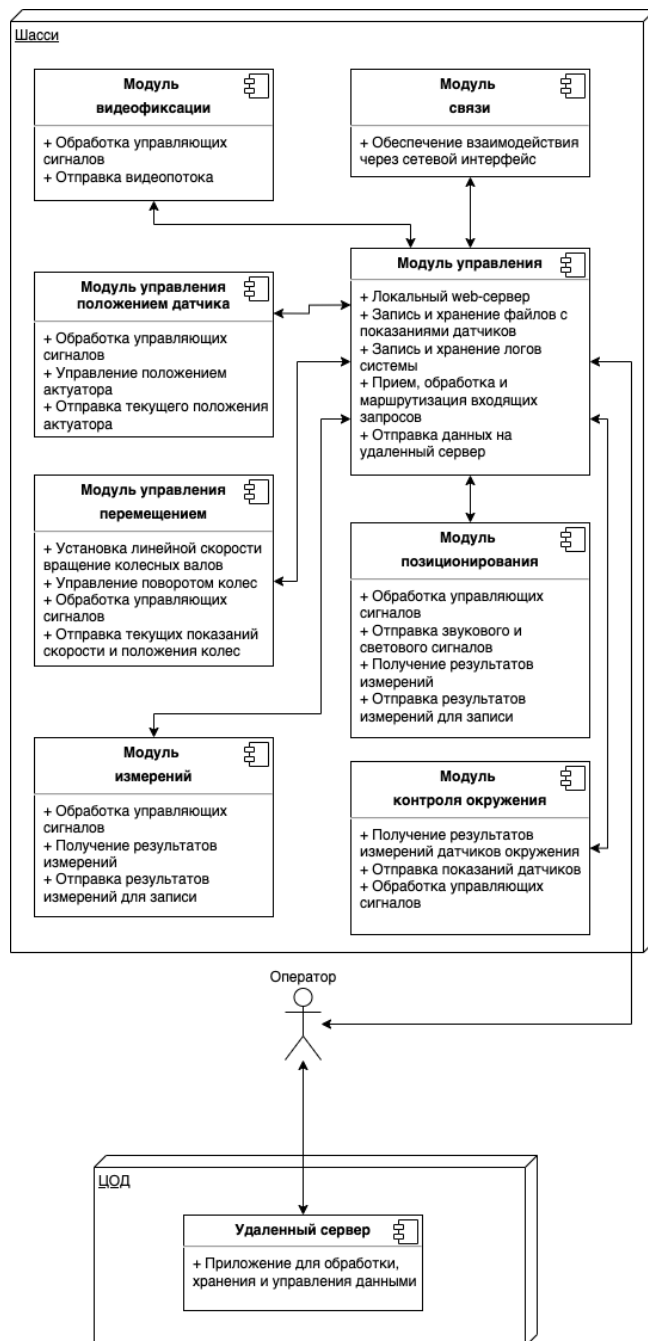


Рисунок 2. Архитектура локального измерительного комплекса.

непосредственно в браузере, что позволяет обеспечить управление комплексом практически с любого устройства, на которое можно установить современный браузер.

Клиентское приложение в такой реализации отправляет управляющие сигналы в центральный модуль управления, запрашивает из него же показания датчиков и получает входящий видеопоток. В клиентском приложении так же предусмотрена функция отправки собираемых данных на удаленный сервер, что позволяет обеспечить их сохранность в случае выхода электроники комплекса из строя. При этом удаленный сервер требует авторизации всех входящих извне запросов, а данные передаются в зашифрованном виде.

Центральный модуль управления так же отвечает за обработку и маршрутизацию всех поступающих управляющих сигналов в другие модули системы.

Собирает показания датчиков, отправляет их клиентскому приложению, а также сохраняет локально, в зависимости от выбранного режима хранения. Вся внутренняя логика работы комплекса так же выполняется в этом модуле, в том числе определение опасных для перемещения зон, исходя из показаний датчиков, измеряющих уровень радиации.

#### *В. Модуль связи (обмена данными) платформы*

Обеспечивает связь клиентских приложений с центральным модулем управления по одному из существующих протоколов. Одним из наиболее подходящих для решения данной задачи протоколов является wi-fi. Однако, в случае если особенности объекта, на котором проводятся измерения, не позволяют обеспечить устойчивый сигнал беспроводной связи во всех точках, можно использовать проводной или другие альтернативные способы связи за счет замены соответствующего модуля.

#### *С. Модуль пространственных перемещений платформы;*

Отвечает за функцию перемещения подвижной части измерительного комплекса в пространстве. Может быть реализован на основе любой конструкции, обеспечивающую линейное перемещение во всех направлениях. Простейшим вариантом в данном случае является шасси, как на колесной (как в работе [7]), так и на гусеничной тяге, для работы на сложном рельефе возможно использовать в качестве платформы роботов, использующих механизированные конечности, в определенных случаях можно использовать перемещающиеся по воздуху квадрокоптеры. Включает в себя приводы и механику, осуществляющую перемещение, а также электронику, преобразующую управляющие сигналы Центрального модуля управления в импульсы, приводящие приводы в движение. Кроме того, в состав этого модуля входят датчики, измеряющие параметры линейного движения (скорость передвижения, ориентация в пространстве и т.д.). Обработывает управляющие сигналы на линейные перемещения от Центрального модуля управления и передает в него текущие показания датчиков.

#### *Д. Модуль радиационных измерений;*

Отвечает за функцию сбора показаний датчиков, измеряющих радиационный фон. Включает в себя непосредственно детекторы и электронику, обеспечивающую преобразование аналогового сигнала детекторов в цифровой сигнал, который затем передается в Центральный модуль управления. В данном модуле могут использоваться совершенно разные датчики, измеряющие разные величины, например мгновенную мощность дозы, либо спектр излучения в данной точке. Пространственная чувствительность может быть изотропной, либо же нет, во втором случае модуль так же будет предусматривать механические элементы, которые позволяют изменить направление детектора для получения полной картины.

Все данные показаний детекторов, вместе с данными о их положении в пространстве передаются на удаленный сервер (либо временно сохраняются локально) в «сыром» виде. Вся дальнейшая обработка и построение пространственных моделей производится на удаленном сервере с учетом типа датчика, его показаний, пространственной ориентации и прочих параметров.

#### *Е. Модуль определения позиции платформы в помещении;*

Функцией данного модуля является определение абсолютного или относительного значения координаты текущего положения робота. Включает в себя непосредственно датчики, необходимые для осуществления измерений, а также электронику, которая на основе полученных данных измерений выполняется расчёт координат, преобразует полученные данные в цифровой сигнал и передает в Центральный модуль управления.

К примеру, в работе [7] описывается конструкция робота, который использует систему позиционирования на основе данных GPS. Такая система не очень подходит для позиционирования внутри промышленных объектов, во-первых, потому что GPS-сигнал плохо проходит через массивные бетонные стены промышленных объектов, во-вторых подобный метод обладает слишком большой погрешностью определения положения (от метров до нескольких десятков метров).

Более предпочтительно для решения данной задачи выглядят системы, использующие триангуляцию на основе ультразвуковых и оптических сигналов, либо же на основе сверхширокополосных приемников радиосигналов.

#### *Ф. Модуль позиционирования датчиков относительно платформы;*

Модуль отвечает за изменение ориентации и высоты установки датчиков радиационных измерений. Принимает и обрабатывает управляющие сигналы от Центрального модуля управления, преобразует их и передает на приводы, изменяющие положения датчика. В Центральный модуль управления из данного модуля передаются показания текущего положения датчика.

#### *Г. Модуль видеофиксации*

Обеспечивает трансляцию видеопотока в клиентское приложение, чтобы предоставить оператору возможность обзора от первого лица для более удобного управления роботом. Включает в себя камеру без фильтра Байера (позволяет попадать на матрицу свету инфракрасного спектра, что в свою очередь обеспечивает лучшую картинку при низких уровнях освещения), электронику и приводы, дающие возможность изменения ориентации камеры. Обработывает управляющие сигналы на изменение положения камеры от Центрального модуля управления и передает в него видеопоток.

#### *Н. Модуль контроля окружения и пространственного картографирования;*

Основной задачей данного модуля является фиксация элементов окружения и расстояния до них от подвижной части комплекса. Связан с Центральным модулем управления и передает в него сигналы датчиков, на основе этих показаний в Центральном модуле управления происходит корректировка управляющих сигналов на линейное перемещение, как в режиме телеуправления, так и в автоматическом режиме. Возможно применение в данном качестве устройств, работающих на принципах, описанных в [8]. Данный механизм позволяет предотвратить механические повреждения, получаемые комплексом в результате работы, например в результате столкновения на большой скорости с препятствиями, либо падения с большой высоты. При работе в автоматическом режиме такая система совершенно необходима, а при работе в режиме телеуправления она помогает оператору, например в условиях плохой видимости.

#### *И. Модуль энергообеспечения платформы;*

Модуль обеспечивает автономную работу подвижной части измерительного комплекса. Состоит из элементов питания (аккумуляторных батарей) и электроники, преобразующей переменный ток из сети в постоянный ток, необходимый для зарядки аккумуляторов, а так же электроники передающей данные о текущем уровне заряда батарей в Центральный модуль управления.

Помимо модулей, устанавливаемых непосредственно на подвижную платформу, работоспособность комплекса обеспечивают и другие компоненты. В частности, в режиме работы без непосредственного доступа платформы к интернету, необходимо устройство, на котором будет исполняться клиентское приложение (мобильный телефон, планшет, компьютер, на котором установлен современный браузер).

В случае, если на объекте не обеспечивается стабильное покрытие wi-fi сигналом, в состав комплекса могут входить wi-fi-повторители, решающие данную проблему, а так же прочее коммутационное оборудование. Для функционирования модуля определения позиции платформы в пространстве необходима установка так называемых якорей (приемников или передатчиков, в зависимости от используемой технологии) в определенных точках помещения, по которым затем осуществляется привязка карты радиационных измерений к пространственной карте помещения.

Для зарядки аккумуляторных батарей модуля энергообеспечения платформы в состав системы должна входить зарядная станция. При работе в автономном режиме в платформе должны быть реализованы алгоритмы, обеспечивающие ее перемещение к зарядной станции при снижении уровня заряда батарей до значений ниже установленного порога.

В зависимости от условий на конкретном объекте в состав системы может входить подсистема контроля загрязнения платформы и ее дезактивации.

#### IV. ОПИСАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ

Измерительный комплекс может работать в нескольких режимах:

- a. Режим телеуправления с ручным проведением измерений
- b. Режим телеуправления с автоматическим выполнением измерений по заранее подготовленному заданию
- c. Автоматический режим работы по заранее подготовленному заданию

В режимах работы b и c предполагается подготовка специального задания, которое подготавливается на основе плана помещения и загружается в удаленный сервер. На удаленном сервере задание, представляющее собой совокупность точек пространства и проводимых в них измерений, преобразуется в массив последовательных команд управления, которые необходимо исполнить роботизированному комплексу, после установки на объекте. В дальнейшем, данные инструкции в зависимости от наличия или отсутствия подключения комплекса к удаленному серверу могут либо быть выгружены в виде файлов, которые можно поместить в локальную память Центрального модуля управления, либо передаваться потоком в режиме реального времени в Центральный модуль управления после установки и активации комплекса непосредственно на объекте. Различия в заданиях подготовленных для сценария b и c заключаются в том, что в первом случае задание представляет из себя набор управляющих команд на снятие показаний детектора, либо же его перемещения в пространстве, во втором случае, задание, помимо указанных ранее типов команд так же включает в себя команды на линейное перемещение роботизированного комплекса.

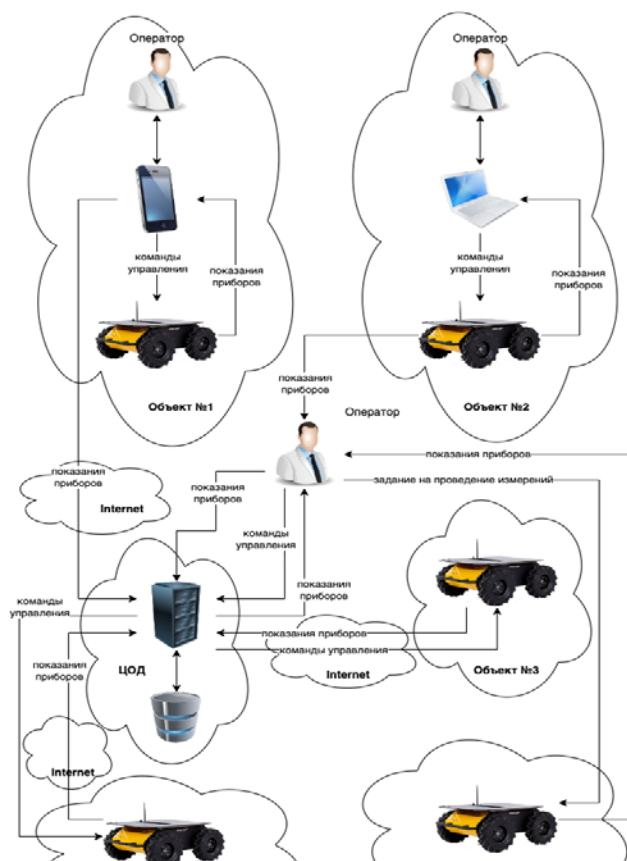
Вне зависимости от выбранного режима работы на первом этапе необходимо выполняется установка подвижной части комплекса на объекте, где будут проводиться измерения. Предварительно необходимо убедиться, что используемый способ связи с комплексом обеспечивает покрытие всей территории объекта.

Для сценариев работы с комплексом с использованием телеуправления возможны два различных варианта: управление оператором, находящимся непосредственно на объекте и удаленное управление оператором, не находящимся на объекте. Первый вариант используется на объектах, на которых в силу тех или иных причин невозможно обеспечить устойчивое интернет-соединение. Второй вариант используется на объектах, на которых возможно подключение роботизированного комплекса к интернету.

При наличии подключения к интернету комплекс через Центральный модуль управления подключается к удаленному серверу и устанавливает двусторонний канал передачи информации. Оператор так же подключается к удаленному серверу и через него отправляет управляющие команды роботизированному комплексу и получает в ответ видеопоток, показания датчиков и другие данные, передаваемые комплексом.

Если комплекс имеет подключение к интернету и предполагается работа с заранее подготовленными заданиями, оператор активирует исполнение соответствующего задания, после чего начинается передача управляющих команд с удаленного сервера в комплекс. Так же в данном сценарии возможно активировать функцию передачи показаний и логов работы комплекса на удаленный сервер в режиме реального времени. При этом, в случае потери соединения все не переданные данные будут отправлены на сервер в тот момент, когда соединение будет восстановлено. Если данная функция не включена все данные сохраняются локально и могут быть в последующем загружены непосредственно из Центрального модуля управления.

В варианте управления роботом из локальной сети, оператор подключается к локальному web-серверу, функцию которого выполняет Центральный модуль управления, используя браузер на любом доступном устройстве, после загрузки всех необходимых файлов клиентского приложения с сервера, выполнение клиентского приложения начинается в браузере. Производится ввод учетных данных для определения прав доступа оператора, после чего, оператору становится доступен интерфейс управления роботом и установленными модулями, отображается видеопоток, показания датчиков и другие данные, передаваемые комплексом. В данном сценарии так же возможна передача данных на удаленный сервер в режиме реального времени, но для этого требуется, чтобы на устройстве, на котором у оператора исполняется клиентское приложение было соединение с интернетом. В таком случае из клиентского приложения инициируется запрос к удаленному центру обработки данных на передачу показаний. На данном шаге так же требуется авторизация пользователя, но уже на удаленном сервере, для определения его прав доступа. На Рисунке 3 отражены все сценарии работы комплекса,



описанные ранее. На объекте 1 комплекс работает в режиме телеуправления, при этом с клиентского устройства оператора есть доступ через интернет до удаленного сервера, за счет этого данные о работе комплекса передаются в режиме реального времени на удаленный сервер. На объекте 2 есть только локальная сеть, в связи с этим после работы комплекса данные будут выгружены из Центрального модуля управления и загружены на удаленный сервер вручную по окончании измерений. На объекте 3 у комплекса есть доступ к сети интернет и реализован режим удаленного управления и передача данных на сервер в режиме реального времени. На объекте 4 робот работает с заранее загруженным заранее заданием, но там отсутствует доступ к интернету и данные будут выгружены вручную. На объекте 5 так же есть доступ к сети интернет и там робот работает, исполняя команды, получаемые от удаленного сервера в режиме реального времени, данные так же передаются на удаленный сервер.

Вне зависимости от того, какой сценарий работы комплекса использовался, результатом работы комплекса на объекте является сохраненный локально, а затем загруженный, либо загруженный в режиме реального времени на удаленный сервер реестр с показаниями измерений.

На удаленном сервере пользователям доступна возможность выгрузки данных из базы и последующая их обработка, если заказчик использует собственные алгоритмы для построения пространственной карты радиационного фона на объекте, либо же используются доступные на удаленном сервере алгоритмы для решения этой задачи.

## V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ текущих процессов по проведению радиационных измерений на объектах атомной промышленности показал, что существует огромный потенциал для развития и совершенствования в области проведения подобных работ. В настоящий момент практически полностью отсутствует автоматизация, которая помогла бы не только исключить воздействие вредных факторов на организм человека, но и ускорить сам процесс выполнения подобных работ, повысить их точность и исключить человеческий фактор, как возможный источник дополнительных ошибок при проведении измерений. Учитывая все вышеприведенные факторы, можно рассчитывать на очень существенное повышение эффективности существующих процессов, в случае массового внедрения подобных автоматизированных комплексов. В данном случае можно говорить именно о массовом внедрении подобных аппаратов, так как предложенная модульная архитектура является универсальной и подходит для работы на любых объектах, при необходимости дополняясь определенными модулями. Кроме того, удешевление всей конструкции достигается за счет того, что в частях комплекса, работающих непосредственно на объекте, используется маломощная недорогая электроника, а все данные передаются на

сервера в центре обработки данных, где уже выполняются все необходимые ресурсоемкий расчёты. Так же, важным с экономической точки зрения является тот факт, что предложенное техническое решение в качестве одного из режимов работы предлагает удаленное управление комплексом. В таком режиме работы не требуется присутствие высококвалифицированных работников, проводящих измерения на самом объекте, что позволяет иметь небольшое количество специалистов, которые могут удаленно проводить соответствующие работы по всей России. Автоматический режим проведения измерений так же не требует присутствия в помещении операторов или обслуживающих комплекс специалистов.

#### БИБЛИОГРАФИЯ

1. НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МЧС РОССИИ Годосейчук С.П., Самойлов К.И., Климачева Н.Г., Дикий В.А., Симанов С.Е. Москва, 2011
2. ОПЫТ СОЗДАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ, РОБОТИЗАЦИЯ ВООРУЖЁННЫХ СИЛ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ Сборник статей V военно-научной конференции. [стр. 325-340] Том 1. Анапа, 2020
3. УДК 621.039.4 УПРАВЛЕНИЕ РЕСУРСОМ РБМК-1000 И РАЗВИТИЕ РЕМОНТНО-ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ РОБОТОТЕХНИКИ, Балдин В.Д., Бирюков А.Н., Каплиенко А.В., Михальченко А.П., Слободчиков А.В., АТОМНАЯ ЭНЕРГИЯ [стр. 215-221], Москва, 2020
4. РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ВЫВОДА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕАБИЛИТАЦИИ ЯДЕРНО- И РАДИАЦИОННО-ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ НИЦ "КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ" С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСТАНЦИОННО УПРАВЛЯЕМЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ, Семенов С.Г., Москва, 2013
5. Madzhidov A .I., Dmitrenko V.V., Ulin S.E ., Grachev V.M., Vlasik K.F., Egorov R.R., Krivova K.V., Uteshev Z.M., Chernysheva I.V., Shustov A.E. Prospects of Xenon Gamma Spectrometer Application as a Recording Device on Board of an Automated and Robotic Gamma-Ray Spectrometric Complex for the Decommissioning of Nuclear Physical Installations . Radioactive Waste, 2022, no. 2 (19), pp . 56—67 . DOI: 10 .25283/2587-9707-2022-2-56-67
6. Chaiyasoonthorn, S., Hongyim, N., & Mitatha, S. (2015). Building Automatic Packet Report System to report position and radiation data for autonomous robot in the disaster area. 2015 15th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS). doi:10.1109/iccas.2015.7364883
7. Vazquez-Cervantes, R. M., & Ramirez-Jimenez, F. J. (2017). 6-Wheel Terrestrial Robot for Radiation Detection. 2017 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (NSS/MIC). doi:10.1109/nssmic.2017.8532653
8. Жабицкий М.Г., Черненко К.В. Метод цифрового определения координат измерительного комплекса при выполнении измерений в замкнутом помещении // International Journal of Open Information Technologies. 2023. №6.



# The problem of developing robotic systems for radiation measurements at industrial facilities

M.G. Zhabitskii, S.U. Donetskii

**Abstract**—*The use of automated systems when working in hazardous conditions allows saving human life and health, reducing operating costs when conducting such measurements, as well as significantly speeding up the speed of such work. There is an urgent problem of decommissioning various facilities of the nuclear industry, an important part of this process is to conduct radiation measurements at the facility and draw up a map of the radiation background based on the results obtained. Currently, in Russia, work on measuring the radiation background at nuclear industry facilities is usually carried out by people without the use of automated systems. This paper presents a conceptual architecture of a system that could solve such a problem. The system consists of a mobile robotic platform, organized according to a modular principle, which allows expanding the functionality of the system without its complete processing, providing components that are also used at the facility during the operation of the complex and a single information system that aggregates measurement data from all measuring complexes. A single information system can process and store the received data, provides a convenient interface for working with these data. The paper discusses and proposes solutions to many problems that arise during the development of such complexes, such as determining the absolute position of the platform in space, communication and control systems, collecting, sending and processing data, issues of pollution control and decontamination, and others. Various options for using the complex and different scenarios for the interaction of measuring modules with a single information system are given.*

**Keywords**—*Radiation measurements, robotic measuring systems, objects with high background radiation.*

## REFERENCES

1. SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL BASES OF CREATION AND APPLICATION OF ROBOTICS FOR SOLVING THE PROBLEMS OF THE EMERCOM OF RUSSIA Todoseychuk S.P., Samoilov K.I., Klimacheva N.G., Dikiy V.A., Simanov S.E. Moscow, 2011
2. EXPERIENCE OF CREATION AND APPLICATION OF MOBILE ROBOTIC COMPLEXES FOR LIMINATION OF THE CONSEQUENCES OF EMERGENCY SITUATIONS, ROBOTIZATION OF THE ARMED FORCES OF THE RUSSIAN FEDERATION Collection of articles of the V military-scientific conference. [p. 325-340] Volume 1. Anapa, 2020
3. UDC 621.039.4 RBMK-1000 RESOURCE MANAGEMENT AND DEVELOPMENT OF REPAIR AND DIAGNOSTIC ROBOTICS, Baldin V.D., Biryukov A.N., Kaplienko A.V., Mikhachenko A.P., Slobodchikov A.V., ATOMIC ENERGY [p. . 215-221], Moscow, 2020
4. DEVELOPMENT AND APPLICATION OF METHODS FOR DECOMMISSIONING AND REHABILITATION OF NUCLEAR AND RADIATION HAZARDOUS OBJECTS NRC "KURCHATOV INSTITUTE" WITH THE USE OF REMOTE CONTROLLED ROBOTIC MECHANISMS, Semenov S.G., Moscow, 2013
5. Madzhidov A. I., Dmitrenko V.V., Ulin S.E. , Grachev V.M., Vlasik K.F., Egorov R.R., Krivova K.V., Uteshev Z.M., Chernysheva I.V., Shustov A.E. Prospects of Xenon Gamma Spectrometer Application as a Recording Device on Board of an Automated and Robotic Gamma-Ray Spectrometric Complex for the Decommissioning of Nuclear Physical Installations . Radioactive Waste, 2022, no. 2 (19), pp . 56—67 . DOI: 10 .25283/2587-9707-2022-2-56-67
6. Chaiyasoonthorn, S., Hongyim, N., & Mitatha, S. (2015). Building Automatic Packet Report System to report position and radiation data for autonomous robot in the disaster area. 2015 15th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS). doi:10.1109/iccas.2015.7364883
7. Vazquez-Cervantes, R. M., & Ramirez-Jimenez, F. J. (2017). 6-Wheel Terrestrial Robot for Radiation Detection. 2017 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (NSS/MIC). doi:10.1109/nssmic.2017.8532653
8. Zhabitsky M.G., Chernenko K.V. Method for digital determination of the coordinates of the measuring complex when performing measurements in a closed room // International Journal of Open Information Technologies. 2023. No 6.