

**РАЗРАБОТКА СИМУЛЯТОРА РОБОТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА «КАНАТОХОД»  
ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ОБСЛУЖИВАНИЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ****Е.Н. Колос, А.С. Лисовенко, А.В. Шелудяков, О.В. Лимановская, А.В. Лемех (Екатеринбург)**

На сегодняшний день диагностика и ремонт линий электропередач в основном выполняются вручную мобильными бригадами. Специалисты выполняют осмотр опор, проверяют состояние проводов и подвесов с помощью биноклей или фотоаппаратуры. Такой подход имеет множество недостатков, среди которых основными являются высокая стоимость работ и опасность. В связи с этим актуальной задачей становится разработка автоматизированных комплексов для диагностики состояния линий электропередач. Наиболее перспективным направлением разработки являются комплексы, основанные на использовании дронов с установленным на них оборудованием.

В России «Лабораторией будущего» разрабатывается такой комплекс с уникальной возможностью среди конкурентов, с посадкой на провод – «Канатоход» [1]. Целью разработки комплекса является автоматическая диагностика состояния линии электропередачи без её отключения, что действительно способно исключить смертельные случаи на производстве.

Сейчас мониторинг линий с помощью «Канатохода» (Рис.1) выполняется пилотом через пульт управления. Для достижения главной цели проекта - полной автоматизации диагностики и ремонта – необходимо чётко задавать платформе последовательность команд – т.е сгенерировать миссию. Для построения миссии необходима цифровая копия воздушной линии электропередач (ВЛ). Цифровой копией ВЛ является симулятор, который содержит всю информацию о коптере и линии электропередач. Двойник платформы позволит строить алгоритм миссии и отлаживать его, благодаря имитации поведения Канатохода и его взаимодействия с окружающей средой.



Рис.1. Моделируемый комплекс «Канатоход»

Существует множество симуляторов, моделирующих поведение элементов линии электропередач в зависимости от технического состояния и нагрузок. Как правило, они учитывают только проектные данные объекта [2] без учёта текущего состояния. Или же наоборот рассматривают только результаты диагностики [3].

Также нет недостатка в программном обеспечении (ПО), выполняющем симуляцию поведения дронов [4]. Некоторое даже позволяет запрограммировать летательное средство на автоматическую работу [5], но такое ПО не моделирует поведение оборудования необходимого для работ на линии электропередач.

**Приложение «Симулятор»**

В симуляторе строится сцена линии электропередач по технической документации, которая хранится в базе данных. Результатом построения является сцена, отображающая состояние опор ЛЭП и их элементов. На сцену помещается цифровая модель комплекса «Канатоход». В соответствии с заданием формируется последовательность команд диагностики и ремонта элементов линии, которая выполняется цифровой моделью на сцене. Отлаженная миссия может быть передана реальному комплексу для выполнения на реальной линии электропередач (Рис.2).

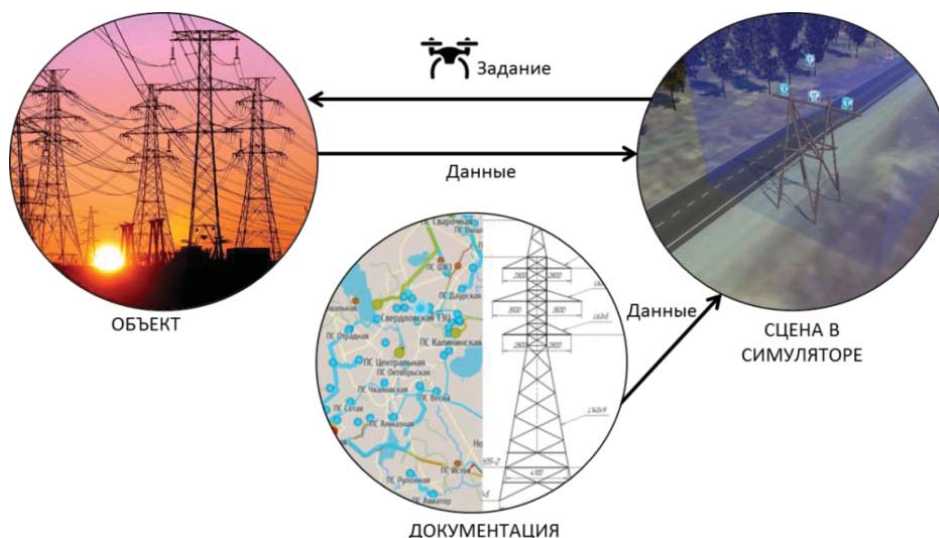


Рис.2 – Концепция системы визуального программирования («Симулятор»)

Приложение «Симулятор» отражает текущее состояние конкретной линии электропередачи, а именно визуализирует ее геометрию и отражает всю актуальную информацию о технических характеристиках, включая информацию о выявленных в ходе проведенных диагностик дефектах и прогнозы на последующее состояние линии в целом и элементов линии в частности (Рис.3). Все эти данные используются для планирования последующих работ комплекса на линии.



Рис.3. 3D-модель линии электропередач в симуляторе миссий

Архитектура цифровой модели роботизированного комплекса

Разработка симулятора выполняется на основе игрового движка Unity. В отличие от инструментов имитационного моделирования игровые движки дают более широкие возможности создания иллюзии действий с реальной физической аппаратурой, позволяют максимально полно воспроизвести внешний вид устройств, их поведение и управление ими [6], что должно являться основной чертой виртуальных симуляторов [7].

Поведение цифровых платформ и оборудования задаётся компонентами. Компонент в Unity это скрипт, с описанием классов, прикрепляемый к игровому объекту и задающий его поведение в соответствии с тем, как заданы значения полей компонентов.

Роботизированный комплекс представляет собой платформу на основе беспилотного летательного аппарата (БПЛА), с возможностью установки на неё различных модулей. Одним из модулей является модуль электроники, который всегда установлен на платформе и объединяет все остальные модули под своим управлением. Модель платформы содержит компонент,

имитирующий программный интерфейс реального коптера, а также компонент, позволяющий выполнять команды пользователя из консоли или от сгенерированной автоматически миссии. Эта система аналогична взаимодействию пульта управления платформой с бортовым модулем электроники.

На модель могут быть добавлены дополнительные компоненты-модули (Рис.4). Поля компонентов могут быть изменены. Благодаря такому своеобразному конструктору симулятор позволяет моделировать работу нескольких модификаций «Канатохода», различающихся конструкциями полётных платформ и способами стыковки с проводом.



Рис.4. Конструирование платформ из различных компонентов

#### Моделирование диагностического оборудования

Работа диагностического оборудования так же отлаживается в симуляторе в ходе планирования миссии. Этапы диагностики формируются из базовых действий устройств. На примере фотосъёмки это выглядит следующим образом: из простейших действий – поворот камеры и изменение фокусного расстояния объектива – автоматически планируется наведение на любой элемент линии электропередач (Рис.5).

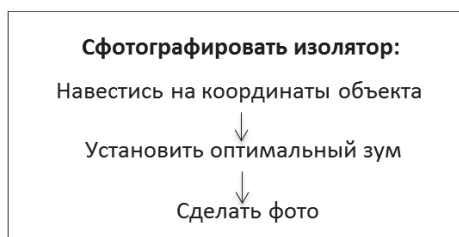


Рис.5. Пример моделирования процесса фотосъёмки изолятора

Диагностическое оборудование «видит» объекты сцены с помощью системы рейкастинга (Raycast). При этом физическую форму элементов линии электропередач описывает компонент MeshCollider[8].

Рассмотрим, как работает рейкастинг на примере модели лазерного сканера (Рис.6). Сканер выпускает луч (структура Ray, предоставляемая средой Unity). Система Raycast проверяет, пересекает ли этот луч объект сцены в пределах максимальной для сканера дистанции. Если пересечение найдено добавляем точку с координатами пересечения в облако точек.

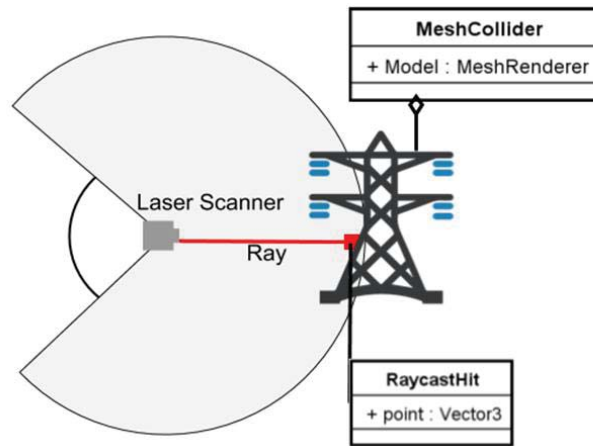


Рис.6. Определениепересечения луча лазера с поверхностью объекта сцены  
Моделирование взаимодействия с линией электропередач

Некоторые инструменты «Канатохода» взаимодействуют непосредственно с проводом или грозотросом. Такими инструментами являются установщик ремонтных муфт, который заворачивает муфту вокруг провода и установщик индикатора короткого замыкания (ИКЗ). Муфта и индикатор после установки считаются объектом линии электропередач и хранятся в описании сцены (Рис.7).

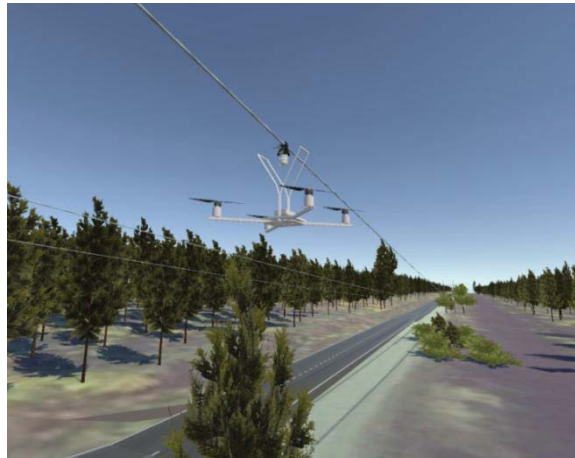


Рис.7. Установленный ИКЗ на сцене линии электропередач

Установка оборудования и подвесов на провод в симуляторе осуществляется с помощью команды `InstallDevice`, принимающие следующие параметры: идентификатор провода и расстояние от начала провода до точки, в которую необходимо установить устройство. Например, `InstallDevice («115-116.В», 450)` означает, что нужно установить устройство на провод фазы В между опорами 115 и 116 в 450 сантиметрах от опоры 115.

Процесс установки можно разделить на следующие этапы:

- Подлёт к указанной точке на проводе.
- Установка платформы параллельно проводу.
- Фиксация устройства на проводе.

Поведение платформы на каждом из этапов моделируется своим скриптом. В некоторых случаях требуется переопределение базового поведения. Например, на этапе №3 при установке муфты требуется повернуть ее подвижную часть, а в случае установки ИКЗ захлопнуть зажимы устройства.

Построения и выполнения миссий

Управление комплексом осуществляется посредством последовательности текстовых команд вида «Команда(параметр1, ..., параметрn)». Управляющий алгоритм загружается в модуль электроники перед началом диагностической или ремонтной процедуры. Вместе с ним

загружается информация о расположении и размерах всех объектов ВЛ. Каждый объект имеет собственный идентификатор. В процессе выполнения алгоритма, команды поочередно обрабатываются модулем электроники и транслируются в низкоуровневые команды для остальных модулей, установленных на платформе.

Примеры используемых команд:

- FlyTo( $x, y, z$ ) — полёт в точку с координатами ( $x, y, z$ ) по прямой. Координаты задаются относительно центра 3D-модели ВЛ, данной на вход программе.
- TakeOff() — взлёт с поверхности земли или провода.
- SitOnCable(cableId) — осуществить посадку на ближайшую к платформе точку провода с идентификатором cableId.
- LookAt(objectId) — навести модуль фото и видеорегистрации на элемент ВЛ с идентификатором objectId.

Полученный в результате генерации алгоритм должен соответствовать некоторым критериям (например, для фотосъёмки):

1. Время выполнения алгоритма должно быть минимальным. Поскольку общий шаблон сильно ограничивает возможность оптимизации, минимизация времени выполнения сводится к минимизации количества остановок при движении по проводу с целью сфотографировать элементы ВЛ (Рис. 8).

2. Расстояние до каждого фотографируемого элемента должно быть минимальным.

3. При фотографировании элемента его в кадре ничто не должно загораживать.

4. Отклонение от оптимального ракурса, заданного для каждого элемента, должно быть минимальным.

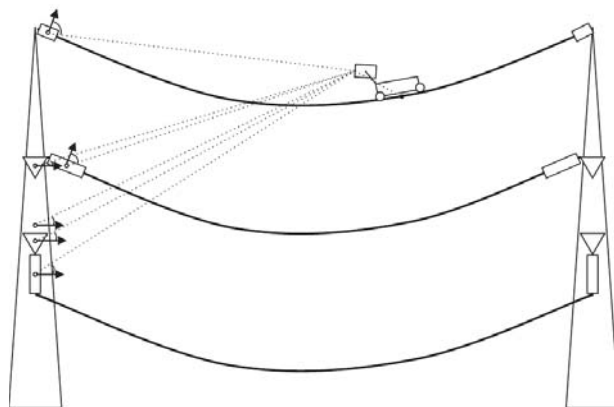


Рис. 8. Схематичное изображение пролёта линии при расчёте точек остановки

Выводы

Создана система имитации поведения роботизированного комплекса и дополнительного оборудования диагностики и ремонта на линии электропередач. Созданные цифровые модели применяются в процессе генерации и отладки алгоритма обслуживания в симуляторе и позволяют промоделировать поведение комплекса на линии, предсказать и избежать возможных проблем при работе на реальном объекте.

В дальнейшем роботизированный комплекс «Канатоход» должен будет отправлять результаты диагностики в базу данных для последующего анализа с помощью экспертных систем. Оперативное обновление данных и исключение человеческого фактора в принятии решений о ремонте линий электропередач и замене отдельных элементов значительно ускорит процесс выявления неисправностей и позволит в большинстве случаев заранее предотвращать возникновение аварий и уменьшить число перебоев в энергоснабжении.

Литература

1. Патент РФ № 2558002, 03.02.2014. Устройство для диагностики воздушных линий электропередач // Патент России. 1998. Бюл. № 33. / Шастин А.Г., Виноградова Л.О., Лемех, А.В., Криворотов В. А., Третьяков В. А.



2. Power Line Systems. URL: <https://www.powerlinesystems.com/products>. – Дата обращения 24.06.2019.
3. Aviarobots. Услуги беспилотников и дронов в электроэнергетике. URL: <http://aviarobots.ru/service/bespilotnik-v-elektroenergetike/>. – Дата обращения 24.06.2019.
4. Best Drone Simulator Review. URL: <http://www.lemondrones.com/drone-reviews/best-drone-simulator-review/>. – Дата обращения 24.06.2019.
5. Program a Tello drone to take pictures and then classify the images. URL: <https://developer.ibm.com/tutorials/program-ryze-dji-tello-drone-using-sdks-and-node-red/>. – Дата обращения 24.06.2019.
6. Simulation Software Comparison: Discrete Event Simulation Competitors. URL: <https://www.anylogic.ru/resources/white-papers/simulation-software-comparison/>. – Дата обращения 21.03.2019.
7. Коженков А.О. Виртуальные симуляторы специальной техники в системе высшего образования / А.О. Коженков // Фундаментальные исследования. –2015. –№ 12-2. С. 278-282.
8. Хокинг Д. Unity в действии. Мультиплатформенная разработка на C# / Д. Хокинг. – СПб.: Питер, 2018. – 336 с.