РОБОТЫ ПО ПОДДЕРЖКЕ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ, СПОСОБНЫЕ ПРЕОДОЛЕТЬ ПРЕПЯТСТВИЯ: АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ И ВЫЗОВЫ

А.В. Таранов, *канд. техн. наук, доцент*
М.С. Нуркенова, *магистрант*
А.Е. Касенова, *магистрант*
Карагандинский государственный технический университет
(Казахстан, г. Караганда)

DOI: 10.24411/2500-1000-2019-11784

Аннотация. *Инспекция и техническое обслуживание линий электропередач уже пользуются преимуществами разработок в области мобильной робототехники. В настоящем документе представлен всесторонний обзор современного состояния техники. Он фокусируется на мобильных роботах, предназначенных для преодоления препятствий, найденных на типичной линии передачи, используя проводник в качестве опоры для путешествий. Обсуждаются перспективные направления исследований и разработок, а также проблемы, которые еще предстоит решить, с целью разработки полностью автономных технологий. Задачи обслуживания, включая осмотр и ремонт, определены как ценные применения в работе в реальном масштабе времени передачи. На основе накопленного опыта делаются выводы и обсуждается будущее мобильной робототехники, применяемой для обслуживания линий электропередачи.*

Ключевые слова: *роботизированные технологии, контрольно-измерительные приборы, обслуживание линии, линии электропередачи, линейные патрульные роботы.*

Стратегические активы, такие как передающие сети, должны управляться безопасным, предсказуемым и надежным способом. Для этого стратегии обслуживания развивались в ответ на строгие правила и неизбежное старение инфраструктуры. Недавние отключения электроэнергии и постоянное увеличение спроса на энергию также оказывают давление на владельцев сетей. За последние несколько лет на методы обслуживания линий электропередач значительно повлияли инновационные инструменты и методы работы.

Как и во многих областях применения, робототехника делает свой след в обслуживании линии электропередач. Paula (1989, 1992), Earp (1996) и Parker and Draper (1998) были первыми, кто представил полный обзор того, где роботизированные приложения могут сыграть полезную роль для удовлетворения требований инспекции в суровых условиях. Они выявили роботизированные прорывы в таких разнообразных областях, как атомные электростанции, техническое обслуживание дорог, осмотр железных дорог, обслуживание воздушных судов и обслуживание сети передачи и распределения. Montambault and Pouliot (2003) представили обзор литературы по инновационным устройствам, применяемым для обслуживания линии электропередачи. В то время среди таких новинок, как новые датчики и методы на основе вертолетов, только несколько роботизированных устройств (все неспособные преодолеть препятствия) нашли свой путь в реальных полевых операциях.

Совсем недавно Дай (2004) рассмотрел ряд роботизированных контрольно-измерительных приборов, в том числе один прототип, способный пересекать контур перемычки тупика в лабораторных условиях. С тех пор во всем мире количество и разнообразие заявленных инициатив с целью использования надежных роботизированных технологий в реальных условиях линии передачи данных резко возросли.

Техническое обслуживание линии электропередачи: бизнес-корпус для робототехники

Всего несколько лет назад для линейного человека было обычным делом работать

на отключенной линии электропередач. В настоящее время работа в режиме реального времени является обязательной для большинства операций по техническому обслуживанию, и эта потребность в обеспечении доступности системы является ключевым фактором в бизнес-случае для робототехники. В труднодоступных местах, таких как пересечения дорог, рек, железных дорог и электрических распределительных линий и пролетов через горную местность, все места, где бескомпромиссный телеуправляемый робот. Действительно, достижение стратегических позиций для мониторинга состояния линейных компонентов приводит к лучшему управлению активами. Лучшее знание состояния активов приводит к принятию оптимальных решений по инвестированию средств, предотвращению или отсрочке затрат (например, продлению срока службы активов) и повышению надежности [1].

Роботизированные технологии также оказывают влияние на безопасность обслуживающего персонала благодаря дистанционному доступу к находящимся под напряжением компонентам, а также проверке и оценке механической целостности поврежденного проводника до ремонта проводниками.

По сравнению с другими методами, такими как работа на вертолетах, использование роботов часто выгодно в снижении затрат, повышения эффективности (качество изображений и возможность измерения контакта), повышение безопасности (обслуживающего персонала и общественности) и обеспечения доступа к конкретным схемам (например, вертикальные цепи, двойные цепи и линии через жилые районы или растительность). У пилотируемых моторизованных тележек также есть свои пределы, когда речь идет о пересечении препятствий, перемещение по наземным проводам заземления (минимальное расстояние диэлектрического зазора от фаз) и согласование конкретных конфигураций проводников (например, вертикальных цепей и пучков проводников).

Ранняя работа Hydro-Quebec по робототехнике, примененная к линиям передачи

С 1998 года в исследовательском институте Hydro-Quebec были разработаны три различные робототехнические технологии с целью внедрения робототехники в практику обслуживания линий электропередачи. Первая технология LineScout была представлена на сетке в 2000 году и описана в Montambault, Cote и St-Louis (2000) и Montambault and Pouliot (2003). Несмотря на то что первоначально разработанная для обледенения, эта тележка с дистанционным управлением используется на линиях с напряжением 315 кВ для выполнения таких задач технического обслуживания, как визуальные и инфракрасные проверки, измерение электрического сопротивления сжатого сращивания и замена старых проводников с использованием метода набивки блоков (рис. 1). Вторая технология, предназначенная для работы на двух-, четырех- и шестипроводных пучках, была разработана в 2003 году (Pouliot, Montambault, Lepage, 2004) [2].



Рис. 1. LineScout на живой линии 315 кВ

Основанный на очень простом механизме, прототип устройства может пересекать препятствия, обнаруженные на пучках проводников, включая распорные заслонки и подвесные зажимы, примерно через 1 с. Было приостановлено создание еще более универсальной системы LineScout Technology, впервые используемой в сети передачи Hydro-Quebec в 2006 году. Эти технологии были разработаны с самого начала с участием конечных пользователей, то есть линейных и техников обслуживания линии от Hydro-Quebec TransEnergie. Внедрение очень простых технологий помогло роботам получить признание в традиционной сфере деятельности. Успешное выполнение этой задачи зависело от хорошего знания линейных конфигураций, существующих методов работы, стратегического обслуживания линии передачи и стратегических структур. В настоящее время подзарядка батареи осуществляется с использованием энергии, восстанавливаемой по градиентам вниз, используя электрическое поле электросети и установка солнечных батарей или ветряной турбины, в лучшем случае, являются средством увеличения автономии, а не единственным источником энергии.

Многообещающие области исследования и развития

Как показано в предыдущих разделах, были достигнуты очень важные шаги в решении некоторых аспектов эксплуатации робота на прямых линиях и пересечения препятствий на них. Тем не менее, многие вопросы еще не изучены, и для выполнения автономных контрольных роботов линии передачи еще предстоит решить большие проблемы.

Спецификации для роботов, предназначенных для прямых линий передачи

Важнейшая проблема, с которой сталкивается прикладная робототехника, связана с условиями эксплуатации в поле и их влиянием на дизайн роботов. Включение факторов в приведенные ниже разделы в технические спецификации для первоначального проектирования может сделать разницу между продуктом для лабораторного развития и одним из тех, которые дают материальные выгоды для операторов.

Работа над стратегическими активами: проблемы надежности

Больше, чем во многих операционных контекстах, работа в сетях с прямой сетью означает, что системы должны быть спроектированы, протестированы и найдены в безопасном, предсказуемом и надежном режиме. Такие события, как повреждение компонентов, создание незапланированного прерывания службы или угроза общественной безопасности, должны вносить вклад в строгий процесс анализа режима отказа и эффекта. Изменения конфигурации могут быть сделаны в течение срока действия ранее утвержденного прототипа, но эффект любой модификации всегда должен оцениваться с точки зрения надежности. Профилактическое обслуживание, контрольные листы предварительной установки и контроль за временем автономной работы являются еще одним примером того, что должно охватываться стандартными рабочими процедурами для обеспечения требуемой надежности.

Прочность

Серьезные конструктивные ограничения связаны с рабочей средой живых линий электропередачи. Если не водонепроницаемый, робот должен быть защищен от брызг (легкий дождь, снег). Типичные температуры окружающей среды могут варьироваться от -20 °C до + 40 °C. Конструкция также должна учитывать такие условия, как пыль, снег и УФ-излучение и механические удары, которые могут возникнуть во время транспортировки (внедорожник, снегоход, вертолет и т.д.) И процедура установки (столкновение с башней, так далее). В некоторых случаях надежность при выборе компонентов для робота должна быть приоритетной. Например, выбор высокопроизводительных датчиков должен быть исключен, если они недостаточно надежны и не могут быть надлежащим образом защищены.

Рабочие возможности линий под напряжением

Электромагнитные помехи – еще одно основное конструктивное ограничение для бортовой электроники, телекоммуникаци-

онных систем и периферийных систем, таких как датчики и камеры. Эти ограничения оказывают огромное влияние на дизайн платы (влияние магнитных полей), геометрический дизайн (минимизирующий эффект короны из-за электрических полей) и общую стратегию заземления и экранирования. Проводимость в каждом механическом компоненте должна поддерживаться во избежание электрического разряда внутри конструкции. Габаритные размеры и общий вес также играют решающую роль в рабочих возможностях в режиме реального времени, поскольку эти функции будут влиять на безопасный диэлектрический зазор при пересечении башни или в середине полета из-за неизбежного увеличения провисания. В связи с тем, что в Китае должны быть введены в эксплуатацию системы на 1200 кВ, разработчики должны стремиться к роботам, способным работать под соответствующим значением электрического поля. Следует также ожидать, что робот будет развиваться в магнитном поле, связанном с током 2000 А.

Обсуждение. Несмотря на то, что в последние годы была проделана большая работа, необходимо провести значительные изменения, прежде чем надежные автономные мобильные роботы будут регулярно проводить инспекцию или техническое обслуживание на сетях передачи. За последние 10 лет авторы разработали несколько роботизированных систем, направленных на обслуживание трансляций в реальном времени, которые широко использовались в сети передачи Hydro-Quebec.

На рисунке 2 представлены три примера различных методов установки для проекта LineScout, все проверено и выполнено линейщиками.



Рис. 2. Методы установки разработана и утверждена на техническое обслуживание персонала, используя изолированную тележку заграждения на цепь 69 кВ (слева) и использование изолированного троса на линии 735 кВ (в центре) и на ОГВ выше двойных цепей 315 кВ (справа).

Из этой обширной области опыта и основанных на ключевых элементах современного обзора, представленных здесь, сделаны следующие выводы для будущего робототехники линии электропередачи:

– Наилучший подход к локомоции, учитывая потребление энергии и скорость перемещения, катится по проводнику.

– Средняя скорость движения должна составлять около 1,0 м/с. Значительно более низкая скорость ограничивала бы эффективность задачи инспекции; гораздо более высокая скорость, вероятно, станет небезопасной из-за возможного наличия непредвиденных препятствий, таких как сломанные нити.

– Время пересечения препятствий не должно превышать 4 мин, опять же для эффективности проверки.

– Достаточная грузоподъемность в диапазоне 15-20 кг должна быть нацелена на датчики и другие подсистемы, поскольку экономическая и стратегическая ценность передающих роботов заключается в их способности выполнять задачи обслуживания.

– Исходя из бизнес-кейса, необходим доступ к одиночным проводникам, про-

водникам с проводами и проводам заземления. Кроме того, устройство должно пересечь большинство препятствий, найденных на типичной линии, но не обязательно на тупиковых башнях.

– Линейные роботы для обслуживания могут работать в режиме телеоперации, поскольку они чаще всего используются для ограниченного числа рабочих мест на нескольких конкретных участках. Это должно быть интуитивно понятным и безопасным для работы таких роботов. Модульность является ключевым фактором для размещения различных типов инструментов и датчиков.

– Система должна быть надежной и безопасной (безопасность оператора, общественная безопасность, целостность линейных компонентов и непрерывность обслуживания). Он должен быть адаптирован к способам установки и эксплуатации в режиме реального времени. По этой причине разработчикам роботов предлагается наладить тесное сотрудничество с электросетями.

– Роботы должны иметь возможность работать с живыми проводниками до 1200 кВ и выдерживать магнитное поле, связанное с током 2000 А.

– Дизайн мобильных платформ является основной задачей, но модули приложений являются ключом к успешным задачам проверки и обслуживания. Коммерческие датчики, обычно используемые линейчатыми, должны использоваться по мере возможности в качестве модулей для установки на роботизированных платформах.

– Линейные патрульные роботы, которые будут работать на проводниках с напряжением, выиграют от полной автономности и наличия системы подзарядки аккумулятора, которая продлевает их автономность до нескольких дней.

– Многообещающей областью исследований для энергетических предприятий является обнаружение и идентификация неисправностей. Датчики для этой цели еще должны быть спроектированы и проверены. В конечном итоге полученная информация будет обработана, и может быть предоставлена диагностика компонентов [3].

Заключение. Был представлен всеобъемлющий передовой обзор мобильных роботов, способных пересекать препятствия на линиях электропередачи. Как показывает количество недавно сообщенных работ, этот тип технологий, скорее всего, появится и будет развернут в среднесрочной перспективе.

Будущие роботы линии передачи должны использовать прогресс, достигнутый в других областях роботизирования, таких как планетарные роверы или автономные транспортные средства: расширенный контроль, экспертные системы, современные материалы, обработка изображений, локализация и картографирование и т.д.

Линии электропередачи необходимо проверять и поддерживать. Поскольку это должно быть сделано на живых компонентах, опасности, которые он влечет за собой, создают стратегическую среду, в которой роботы могут совершить набег и дополнить доступный набор инструментов для персонала, обслуживающего линию.

Библиографический список

1. *Каньете Ж.Ф.,* Диес Л., Кортес А.Х. Широкополосное моделирование внутреннего напряжения в сети каналы. – 2002. – Т. 48. – С. 175-183.

2. *Гутьеррес А. В.,* Дарманд А., Уатт В. и Нгаламу Л. Проектирование аналоговый электронный интерфейс для телефонной системы на основе линий электропередач. – 2006. – Т. 5. – С. 112-133.

3. *Винк Х. Д.* А., Яздани И.«Линия электропередач коммуникации: современное состояние и будущие тенденции // Communication. – 2003. – Т. 41. – С. 34-40.

ROBOTS TO SUPPORT THE ELECTRIC TRANSMISSION LINE, ABLE TO OVERCOME OBSTACLES: ANALYSIS OF THE CURRENT STATE AND CHALLENGES

A.V. Taranov, *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*
M.S. Nurkenova, *Graduate Student*
A.E. Kassenova, *Graduate Student*
Karaganda State Technical University
(Kazakhstan, Karaganda)

Abstract. *Inspection and maintenance of power lines are already taking advantage of developments in the field of mobile robotics. This document provides a comprehensive overview of the current state of the art. It focuses on mobile robots designed to overcome the obstacles found on a typical transmission line, using the conductor as a travel support. Promising areas of research and development are discussed, as well as problems that have yet to be solved, with the aim of developing fully autonomous technologies. Maintenance tasks, including inspection and repair, are identified as valuable real-time transmission applications. Based on the experience gained, conclusions are drawn and the future of mobile robotics used to service power lines is discussed.*

Keywords: *robotic technologies, instrumentation, line maintenance, power lines, linear patrol robots.*