

Перспективы использования беспилотных и роботизированных систем для управления надежностью

В статье разбирается определение объекта наблюдения, показателей, его характеризующих, и способов получения этих показателей применительно к инфраструктуре электросетевого хозяйства. Автор исследует опыт и перспективы внедрения информационно-аналитической системы с использованием беспилотных авиационных систем (БАС) компанией «Россети Тюмень» посредством инновационной технологии, призванной повысить эффективность мониторинга линий электропередачи и сократить аварийность и сроки восстановительного ремонта, предлагается беспилотная аэрофотосъемка и последующее создание специальной базы данных.

Одним из главных направлений Стратегии национальной безопасности России на долгосрочный период является повышение уровня энергетической безопасности. Это отмечено в Указе Президента Российской Федерации от 31.12.2015 № 683 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации». Повысить надежность и бесперебойность поставок энергоресурсов потребителям можно только за счет внедрения новых технологий и стандартов для более эффективного управления объектами топливно-энергетического комплекса.

Важным шагом к реализации Стратегии стало создание Систем удаленного мониторинга и диагностики энергетического оборудования для определения и прогнозирования изменения состояния основного технологического оборудования. Приказом Минэнерго России от 06.11.2018 № 1015 утверждены требования к базовым функциям работы с информацией:

- определение перечня технологических параметров, характеризующих отклонение показателей функционирующего основного технологического оборудования от эталонных моделей;
- сбор, передача, хранение данных о состоянии основного технологического оборудования и формирование статистики на основании математических моделей с целью повышения надежности его работы, выдачи рекомендаций по техническому обслуживанию и эксплуатации основного технологического оборудования;
- предоставление прогностических уведомлений о возможных неисправностях основного технологического оборудования и выдача рекомендаций по их устранению;
- выявление на ранних стадиях изменений технического состояния основного технологического оборудования;
- оценка остаточного ресурса элементов основного технологического оборудования;



Сергей СЕРЕБРЯКОВ
к.т.н., руководитель
проекта Проектного
офиса АО «Россети
Тюмень»

— прогнозирование вероятности наступления аварийных событий.

Организация такой работы требует цифровой зрелости от команды. В 2020 году «Россети Тюмень» одними из первых в отрасли приступили к реализации профильной Программы «Цифровая трансформация АО «Россети Тюмень» 2020–2030 гг.», определяющей перспективные планы технологического и цифрового развития электросетевого комплекса Тюменской области, Ханты-Мансийского автономного округа – Югры и Ямало-Ненецкого автономного округа.

ОБЪЕКТ НАБЛЮДЕНИЯ И ПОКАЗАТЕЛИ

От чего же зависит бесперебойная работа энергетического оборудования, что будет объектом мониторинга и диагностики, на какие характеристики мы будем опираться? Чтобы определиться с понятиями, обратимся к ГОСТ Р 58908.1-2020/МЭК 81346-1:2009 «Промышленные системы, установки, оборудование и промышленная продукция. Принципы структурирования и коды. Часть 1. Основные правила» [1].

В первую очередь нас интересует объект.

Определение термина «объект» носит очень общий характер и охватывает все элементы, над которыми осуществляются действия на протяжении всего жизненного цикла системы. Большинство объектов имеют физическое воплощение, поскольку они материальны. Однако существуют объекты, которые не имеют физического воплощения, но существуют для определенных целей, например:

- для целей структурирования (то есть системы);
- для идентификации совокупности информации.

В нашем случае речь будет идти о воздушных линиях электропередачи.

На рисунке 1 показаны основные элементы ЛЭП.

Очевидно, что перед нами «...техническая система — группа компонентов, работающих совместно для достижения определенной цели. Это некоторая инфраструктура для процесса, состоящего из ряда действий, ориентированных на достижение намеченного результата...» (в нашем случае — для передачи электроэнергии от производителя к потребителю — *прим. автора*).

Далее. «Объект обладает связанной с ним информацией. Это важное утверждение, потому что весь процесс проектирования и разработки, вплоть до реализации (и поддержания в работоспособном состоянии — *прим. автора*), имеет дело только с информацией. Важно понимать, что этой «связанной информацией» можно манипулировать совершенно иначе, чем реальным объектом, представленным этой информацией».

Следующий вопрос — из чего складывается информация об объекте? Для каждого объекта управления создается система показателей и методика получения данных для расчета значений. Затем определяется целевое (норматив-

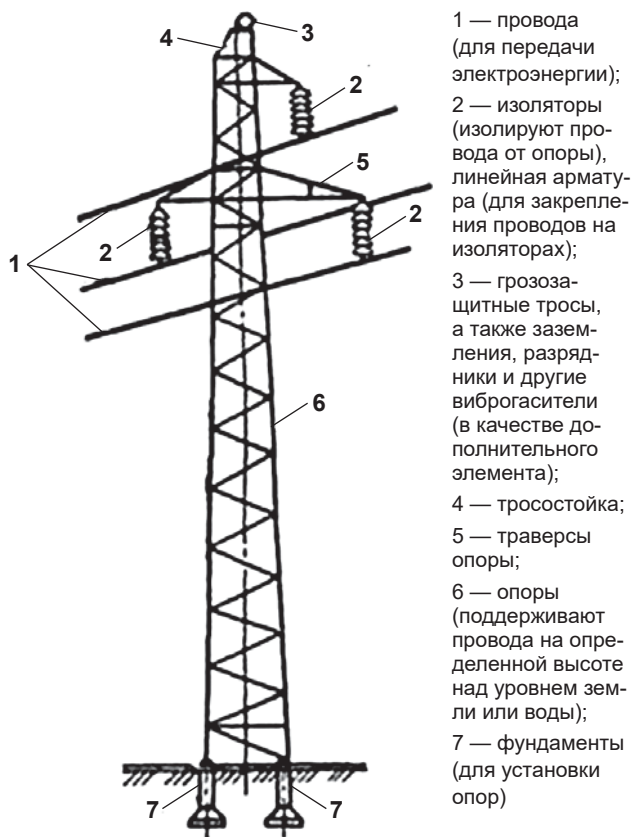


Рис 1. Основные элементы воздушной ЛЭП

ное) состояние (как должно быть, "to be") в виде значения целевого показателя (показателей). И наконец, в ходе наблюдения за объектом, определяется реальное состояние (как есть, "as is") и прогноз развития состояния при наличии или отсутствии действий в отношении объекта — сценарии проектов (задач).

Набор проектов (задач) по всем объектам управления анализируется в модели приоритизации проектов с учетом сценарных вариантов и по итогам выбора оптимального общего сценария создается итоговый проект (задача), исполнение которого контролируется в дальнейшем.

Изобразим все это в виде схемы, описывающей связи между основными составляющими процесса: объектом наблюдения, данными, показателями и субъектом управления (рисунок 2). Очень важно обратить внимание на традиционную ошибку, которая приводит к недопониманию между производителем информационного продукта (функциональный элемент «наблюдатель») и субъектом управления. Информационный продукт в виде данных дистанционного зондирования Земли является «полуфабрикатом» для создания на их основе «показателей», необходимых субъекту управления для принятия оперативных решений. Центральным звеном в процессе и системе отношений по объективным причинам выступает «оператор». Именно «оператор» оказывает непосредственное взаимодействие

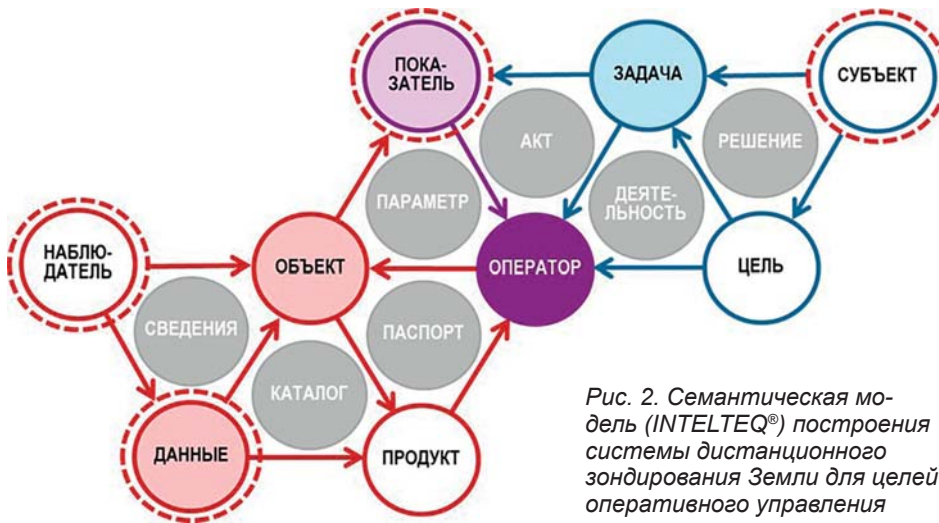


Рис. 2. Семантическая модель (INTELTEQ®) построения системы дистанционного зондирования Земли для целей оперативного управления

лизированного «оператора по управлению данными» остается открытым, о чем мы поговорим в конце данной статьи.

Теперь перейдем от теории к практике, поскольку целью Проекта является разработка системы сбора, обработки, анализа отклонений от нормативных значений показателей состояния объектов электросетевого комплекса при техническом осмотре электрооборудования для последующего планирования

с «объектом» управления и решает поставленные «субъектом» управления «задачи» по достижению заданных «показателей», которые являются результатом достижения «целей» предприятия. На рисунке 2 видно, как все процессы замыкаются на «оператора». Отсутствие такого звена или его устранение из процесса разрушает всю модель организации деятельности.

Важно отметить, что на функциональном звене «оператор» сходятся обычные процессы «управления объектом» и «управления данными», которые необходимо преобразовывать в «показатели» для оценки ситуации и принятия управленческих решений. Вопрос закрепления задачи «управления данными» за оператором основного производственного процесса или создания специа-

действий при плановых и аварийных ремонтно-восстановительных работах на конкретном предприятии.

Все дефекты и повреждения воздушных линий электропередачи (ВЛ) можно разделить на несколько больших групп. В таблице 1 приведена обобщенная информация о повреждениях, подлежащих контролю при обследовании и способах получения информации.

Видно, что основная часть работ по обследованию ЛЭП выполняется дистанционно. Чтобы минимизировать затраты на этот процесс, предлагается оптимальная технология — использование беспилотных летательных аппаратов с разной полезной нагрузкой в зависимости от выполняемой задачи (аэрофотокамера, лазерный сканер, тепловизор и т.п.).

Табл. 1. Обобщенный перечень повреждений, подлежащих контролю при обследовании (материалы предоставлены Службой производственной безопасности и производственного контроля АО «Россети Тюмень»)

Неисправность	Способы получения информации	Периодичность проверок
Неисправности на трассах ВЛ, к которым относится нарушение неприкосновенности охранной зоны: проведение каких-либо несанкционированных работ, загромождение пространства под опорами и проводами, а также отсутствие или неисправное состояние защиты оснований опор, мостков и т.п.	Аэросъемка	Не реже 1 раза в год
Неисправности металлических опор и фундаментов: отсутствие условных обозначений, нумерации опор, предупредительных плакатов, наклон опор, повреждения фундаментов или процессы в грунте вблизи опор, нарушения в металлических элементах опор	Аэросъемка, визуальное обследование на местности	Не реже 1 раза в год
Неисправности на проводах, грозозащитных тросах: наличие оборванных (лопнувших) или перегоревших проволок, разрегулировка проводов, изменение стрел провеса и расстояний от проводов ВЛ до земли или пересекаемых объектов, повреждения и коррозия проводов и тросов, отсутствие гасителей вибрации, неисправности в креплениях и пр.	Аэросъемка плюс визуальное обследование на местности	Не реже 1 раза в год
Неисправности в подвесках и арматуре	Аэросъемка, в том числе ультрафиолетовая и инфракрасная	Не реже 1 раза в год, отдельные виды проверки не нормируются
Неисправности заземляющих устройств	Визуальное обследование на местности	Не реже 1 раза в год

ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Существенная часть объектов электросетевого комплекса «Россети Тюмень» находится в экстремальных условиях. Продолжительная зима с аномально низкими температурами, большие ветровые нагрузки, вечная мерзлота, удаленность многих объектов от населенных пунктов и отсутствие транспортной инфраструктуры создают серьезные трудности при эксплуатации и развитии объектов электросетевого комплекса. Для решения задач повышения эффективности эксплуатации электрических сетей компания «Россети Тюмень» выбрала путь привлечения, разработки и реализации лучших решений рынка цифровой трансформации: приоритетным направлением стало внедрение инновационных технологий, в первую очередь, информационных, способных обеспечить устойчивую, безопасную и надежную энергетическую инфраструктуру, а также обслуживающий персонал комфортными рабочими условиями.

Во всем мире растет объем использования беспилотных авиационных систем (БАС) для решения самых разнообразных прикладных задач. БАС — отличное практическое решение для инспекции ЛЭП и подстанций, чтобы снизить затраты на техническое обслуживание, осмотры и ремонт, минимизировать время простоя, сократить человеко-часы, затраченные на проведение работ.

АО «Россети Тюмень», идя в ногу со временем, с 2020 года внедряет информационно-аналитическую систему с использованием БАС для мониторинга показателей технического состояния электросетевого хозяйства. Цель проекта — разработать систему сбора, обработки, анализа отклонений от нормативных значений показателей состояния объектов электросетевого комплекса при техническом осмотре и за счет этого снизить аварийность ВЛ и повысить оперативность реагирования на инциденты.

Несмотря на то, что «Россети Тюмень» имеют одни из самых высоких показателей надежности электроснабжения потребителей, полностью избежать нарушений электроснабжения на сегодняшний день не представляется возможным, уже сейчас мы можем свести к минимуму их последствия за счет быстрого реагирования. После внедрения информационно-аналитической системы с использованием БАС произойдет перевод бизнес-процессов эксплуатации и ремонта на информационное обеспечение в цифровом виде. Благодаря этому планирование регулярных работ по инспекции и мониторингу объектов электросетевого хозяйства будет происходить более четко и оперативно. Кроме того, сократятся транзакционные издержки внутри бизнес-процессов, обеспечивая повышение производительности труда.

Получаемые данные будут транслироваться и храниться в единой базе данных, основанной на техноло-

гиях работы с «большими данными» и применяться в дальнейшем для плана ремонтов и мероприятий по повышению операционной рентабельности и эксплуатационной надежности инфраструктуры за счет выявления и предупреждения факторов, влияющих на безаварийную работу электросетевого комплекса.

ОПЫТ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРИМЕНЕНИЯ БАС В ЭЛЕКТРОСЕТЕВОМ КОМПЛЕКСЕ «РОССЕТИ ТЮМЕНЬ»

Использование БАС для инспекции и мониторинга объектов электросетевого хозяйства замещает традиционные методы работы и дает новые возможности. Без БАС инспекции обычно выполняются вручную с использованием автогидроподъемников, фотосъемки с большого расстояния или с помощью вертолета. Очевидно, что ручные проверки, включающие подъем на опоры, представляют опасность. Данным, полученным с земли, не хватает детальности и точности. Вертолеты могут собирать данные быстро и на больших территориях, но они дорогие, не могут работать вблизи жилых районов и часто пропускают более мелкие дефекты (например, отсутствующие болты). Одна из самых ценных вещей, которые делает беспилотник, — это возможность инспектировать инфраструктуру, не выключая ее. Это экономит человеко-часы, сокращает время выполнения работ на несколько дней и избавляет от бумажной работы.

Далее на рисунках 3–5 отражен опыт обнаружения дефектов в результате применения БАС в АО «Россети Тюмень».

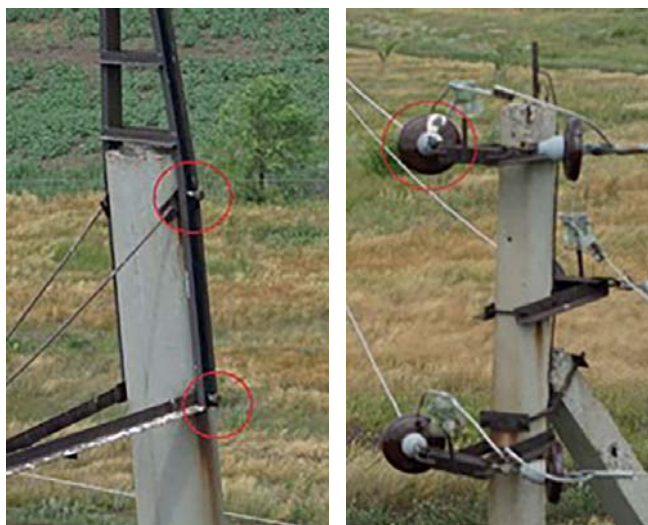


Рис. 3. Недокрученные гайки на болтах траверсы и оттяжки; использование болтов большей длины; коррозия и загрязнение; на фарфоровом изоляторе «В» следы перекрытия; на юбке стеклянного штыревого изолятора следы перекрытия

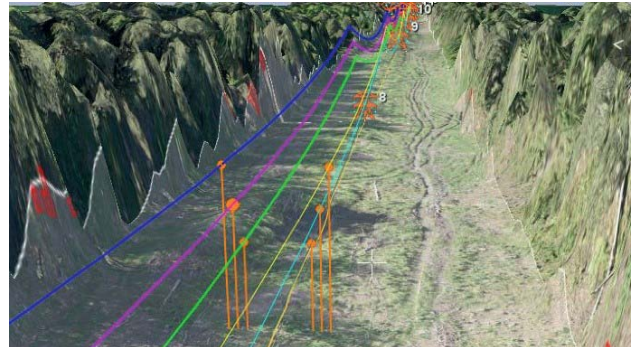
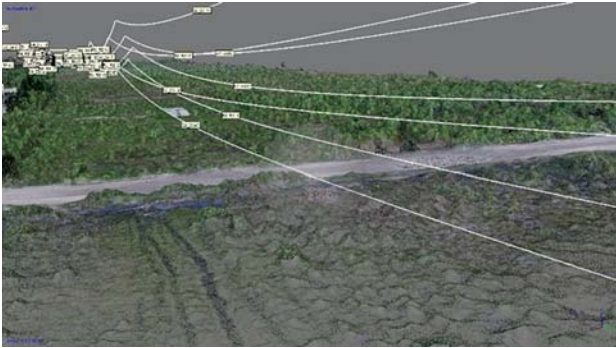


Рис. 4. Стрелы провеса и габариты: точность позиционирования провода в пространстве достигает 10–15 см



Рис. 5. Погрешность обследования ВЛ на наличие ДКР с помощью БАС составляет 1–2%, что позволяет более точно составлять техническое задание и смету на вырубку (очистку) леса и, как следствие, снижать среднюю стоимость расчистки 1 км трассы ВЛ 110 кВ на 20–30%

ПРЕИМУЩЕСТВА ВНЕДРЕНИЯ БАС

1. **Увеличение достоверности данных.** Простые в использовании мультикоптеры могут выполнять детальные проверки распределительных столбов на территории в 10–15 км в день с получением как тепловизионных, так и RGB-изображений. Эти изображения будут иметь более высокий уровень детализации, позволяющий увидеть отсутствующие элементы конструкций, ржавчину, поврежденные изоляторы. Это невозможно при обычном наземном или воздушном мониторинге. Более подробные и точные данные, полученные при помощи дронов, позволят выявлять больше дефектов. Это сократит количество отключений электроэнергии и снизит затраты на ремонт.
2. **Меньше риска для людей.** Безопасность рабочих — одно из самых очевидных преимуществ при использовании БАС. Теперь потенциальную неисправность можно увидеть крупным планом, не взбираясь на опору и не используя автовышку. Применение удаленного мониторинга с использованием БАС может помочь избежать рисков, связанных с доступом к удаленным, плохо обслуживаемым или опасным участкам ЛЭП.
3. **Быстрое реагирование.** БАС могут предоставить неоценимую информацию после стихийного бедствия, когда условия местности могут быть неизвестны, а быстрое реагирование имеет решающее значение. Использо-

вание беспилотников позволяет быстрее получить доступ к участкам, которые могут быть заблокированы водой, пожаром или упавшими деревьями. Беспилотники могут собирать информацию, которая поможет отправить оборудование и персонал в нужное место, чтобы восстановить электроснабжение как можно более эффективно и быстро.

4. **Возврат инвестиций.** Многие беспилотные летательные аппараты, которые обычно используются для линейных инспекций или оценки последствий стихийных бедствий, имеют разумную цену. Рабочий процесс тоже относительно несложен, что упрощает внедрение и обеспечивает быструю окупаемость проекта.

Согласно экспертным оценкам, стоимость оборудования, обучения, программного обеспечения и поддержки для программы внедрения информационно-аналитической системы с использованием БАС окупится в течение 3–4 лет после ее внедрения.

ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С БАС

Каким же образом будет строиться работа с БАС? В таблице 2 приведены описания основных рабочих процессов.

Очевидно, что для исполнения всех этих рабочих процессов необходимо создать высокопрофессиональную команду, имеющую знания и опыт работы в таких разных областях, как беспилотная аэрофотосъемка, обработка данных, создание

корпоративных информационных систем, управление трудовыми ресурсами, получение права на выполнение полетов и т.д. Для решения этой задачи представляется целесообразным сконцентрироваться на создании Центра компетенций в области оказания услуг с использованием БАС на базе одного из дочерних зависимых обществ (ДЗО) ПАО «Россети» или за счет привлечения сторонней организации — оператора информационно-аналитической системы с использованием БАС. В обязанности этой новой производственной структуры будут входить:

- создание центра сбора, хранения и обработки данных;
- создание централизованного сервиса для получения разрешений (допусков) на полеты БАС;
- разработка отраслевого программного обеспечения, позволяющего автоматизировать процесс выявления дефектов и нарушений работы элементов ВЛ при помощи БАС;
- организация использования БАС, принадлежащих ДЗО ПАО «Россети», для осуществления осмотров ВЛ;
- контроль исполнения договоров на проведение проектно-исследовательских работ по расширению просек ВЛ с использованием БАС.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ЭФФЕКТЫ ОТ РЕАЛИЗАЦИИ ПИЛОТНОГО ПРОЕКТА

Приведем цифры, демонстрирующие положительный мировой опыт по внедрению систем управления эффективностью и надежностью:

- повышение механической готовности на 2–6%;
 - снижение количества внеплановых ремонтов до 40%;
 - снижение количества инцидентов до 40%;
 - снижение капитальных затрат до 25%.
- АО «Россети Тюмень» после внедрения информационно-аналитической системы с использованием БАС ожидает снижение операционных расходов на 7%. Это произойдет за счет:
- повышения качества данных (устранения дублей, актуализации, структурирования, обогащения) как

Табл. 2. Составные части бизнес-процесса при организации работы с БАС

Рабочие процессы	Описание
Заказ работы	Размещение запроса на работу с данными БАС
Управление парком БАС	Планирование загрузки беспилотников и датчиков для каждого задания, управление логистикой отгрузки и хранения, соблюдение графиков технического обслуживания оборудования, выполнение ремонта или модернизации по мере необходимости
Управление персоналом	Отслеживание сертификатов, лицензий, обучения и квалификации каждого пилота; назначение пилотов на каждый проект; контроль расписания поездок; обеспечение соблюдения требований к отдыху; отслеживание производительности на рабочем месте
Контроль соответствия	Проверка правил и положений воздушного пространства, полетов и пилотов для каждого проекта; обеспечение наличия всех необходимых разрешений, лицензий, обучения
Планирование полета	Определение графика полета, схемы, высоты и характеристик получаемого изображения, а также любых погодных требований (например, ограничения по температуре, ветру, освещенности) для достижения целей работы с данными
Сбор информации	Полет беспилотника, оснащенного соответствующей полезной нагрузкой согласно плану полета и процедурам безопасности для сбора данных на конкретном объекте
Журнал полетов	Сбор всех данных о полете, таких как траектория полета, высота, скорость, использование батареи и снимки экрана для эффективного документирования и отслеживания полета
Информационные технологии	Автоматическая и/или ручная обработка и анализ необработанных данных с БАС для создания конечного продукта (ортофотоплана, термограммы и т.п.) и отчета
Управление данными	Хранение, отслеживание, организация и доставка огромных объемов данных, собранных, обработанных и проанализированных с помощью БАС
Отслеживание производительности и усовершенствование программы	Соблюдение политики компании, отслеживание показателей программы и оценка преимуществ программы (например, затрат и сэкономленных человеко-часов)

- в мастер-справочнике, так и в справочниках локальных ИТ-систем;
- построения единой системы кодировки записей справочника для всех ИТ-систем, возможности интеграции ИТ-систем на уровне справочных данных;
- сокращения количества ручных операций при обработке запросов;
- увеличения производительности и качества работы;
- снижения риска ввода ошибочных данных за счет автоматизации проверок качества;
- автоматизации процессов централизованного распространения справочников;
- снижения издержек и трудозатрат;
- построения сквозных бизнес-процессов и повышения их эффективности, прозрачности и управляемости на различных стадиях;
- автоматического формирования достоверной аналитической и управленческой отчетности.

Кроме того, применение технологий с использованием БАС позволит увеличить размер нетарифной выручки за счет предоставления дополнительных услуг и сервисов сторонним потребителям, снизить затраты на проведение проектно-испытательских работ, технического обслуживания, а также повысить производительность труда.

СТАТУС ПРОЕКТА НА НАСТОЯЩИЙ МОМЕНТ

В рамках внедрения БАС «Россети Тюмень» уже завершили часть фундаментальных этапов, в частности, подготовлен паспорт проекта. Экспертной группой разработаны технические требования для реализации паспорта проекта и его составляющих. Специалисты компании провели анализ технических возможностей участников рынка и определили технические требования к выполняемым работам по сбору первичной информации с использованием БАС. Также сотрудниками «Россети Тюмень» определена пилотная зона для выполнения работ, разработана организационно-правовая схема реализации проекта с учетом действующих нормативно-технических и разрешительных документов, организовано взаимодействие с профессиональным сообществом, доступ к современным и перспективным разработкам в области БАС с возможностью отслеживать развитие нормативно-правового регулирования в части правил применения и использования БАС.

В настоящий момент энергокомпания ведет работы по сбору и организации информации в геоинформационную систему (ГИС АО «Россети Тюмень») для обеспечения управления БАС и разрабатывает организационно-технологическую схему по организации комплекса работ.


ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 58908.1-2020/ МЭК 81346-1:2009. Промышленные системы, установки, оборудование и промышленная продукция. Принципы структурирования и коды. Часть 1. Основные правила. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200174030>.
2. Drones in T&D. Today's Benefits, Use Cases, and Best Practices for Drones in the Electric Transmission & Distribution. URL: <https://www.measure.com/drones-in-transmission-distribution-utilities>.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проект по созданию информационно-аналитической системы с использованием БАС имеет большие перспективы для дальнейшего развития. После успешного внедрения в зоне ответственности «Россети Тюмень» видится целесообразным тиражирование технологии мониторинга БАС на другие ДЗО ПАО «Россети».

Развитие информационных технологий и БАС будет способствовать построению единого геоинформационного пространства, обеспечивая качество принимаемых решений по развитию «Россети Тюмень» и регионов в целом за счет регулярной актуализации информации для успешного пространственного развития через развитие нетарифных информационных сервисов энергетических компаний в интересах органов государственной власти, местного самоуправления и бизнеса.

Цифровизация электросетевого хозяйства не только обеспечит необходимое качество услуг для потребителей, но и создаст необходимые инфраструктурные условия для развития экономики регионов, реализации приоритетных государственных проектов, а также создаст необходимые условия для обеспечения энергетической безопасности страны. 

Автор выражает благодарность В.А. Рубанову, научному руководителю ЦИИТ Интелтек, соучредителю и члену президиума Совета по внешней и оборонной политике, члену экспертной коллегии Фонда Сколково, за материалы, предоставленные во время работы над статьей.

Хренников А.Ю.

Техническая диагностика и аварийность электрооборудования

Учебно-методическое пособие. ЛИТРЕС, 2021. 230 стр., 154 ил.

Представлен анализ методов диагностики состояния электрооборудования для выявления дефектов и повреждений в процессе эксплуатации. Эффективность применения методов диагностики сопровождается примерами обнаружения дефектов и повреждений конкретного оборудования: силовых трансформаторов, реакторов, трансформаторов тока и напряжения, разъединителей, турбогенераторов, ОПН и т.д. Приведены примеры повреждений и расследования технологических нарушений. Рассмотрены вопросы электродинамических испытаний силовых трансформаторов на стойкость к токам КЗ, которые служат инструментом для повышения надежности их конструкции. Предназначено для руководителей и специалистов технических служб предприятий электрических и распределительных сетей, станций, подразделений технической инспекции (ТИ) и служб охраны труда и надежности филиалов МЭС ПАО «ФСК ЕЭС» и ПАО «Россети», слушателей курсов повышения квалификации, а также для аспирантов, магистрантов и студентов электроэнергетических специальностей.



Книгу можно приобрести в интернет-магазине электронных книг «ЛитРес» в разделе «Техническая литература»