

УДК 621.31:654.1

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СВЯЗИ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ НА ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ СРЕДСТВАМИ АВТОНОМНОГО ПЕРЕДВИЖНОГО КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ*

Рассмотрены основные направления применения автономного передвижного комплекса управления (АПКУ) для оценки технического состояния линии электропередачи, выведенной из эксплуатации на регламентные работы или устранение аварии. Приведены технические ограничения на размещение АПКУ вблизи ВЛ для решения основных производственных задач диагностики в электросетевом секторе электроэнергетики.

АВТОРЫ:

А.С. Селиванов,
Д.Ю. Черников,
Институт инженерной физики
и радиоэлектроники

В.Н. Войцеховский,
Администрация г. Красноярск

В.Н. Якушев,
Филиал ПАО «Россети» — МЭС Сибири

Введение

Основным элементом, обеспечивающим транспортировку электроэнергии для потребителей, являются воздушные линии электропередачи (ВЛ). Доминирование ВЛ служит одной из причин того, что более половины всех перерывов в энергообеспечении определяется проблемами воздушных линий [1], и именно по этим причинам организации обследований их технического состо-

яния уделяется столь значительное внимание [1–3].

Наиболее характерная особенность, которая определяет специфику задач по контролю текущего состояния воздушных линий, — очень большая географическая протяженность данного объекта энергетической инфраструктуры. Действительно, проверку текущего состояния ВЛ требуется осуществлять на всем протяжении линий, производя

измерение и передачу в центр управления весьма значительного количества информации, характеризующей их состояние. Таким образом, вопросы проектирования, развертывания и эксплуатации технических систем, используемых при проведении регламентных работ на ВЛ, конечно, наряду с другими важнейшими вопросами, можно считать одними из наиболее актуальных задач современной электроэнергетики.

Согласно статистике центра исследований и разработок «Россети» [2–3] основными причинами возникновения аварийных ситуаций на линиях 110–220 кВ являются:

- атмосферные перенапряжения — 70 %;
- воздействие ветра и льда — 12 %;
- воздействие птиц — 5 %;
- внешние воздействия — 5 %;
- вибрация — 3 %;
- старение — 2 %;
- другие факторы — менее 1 %.

Аварийные ситуации приводят к обрывам ВЛ, перебоям в обеспечении электроснабжения, выходу из строя дорогостоящего оборудования и длительному и затратному ремонту. В последнее время в состав ВЛ, как правило, входит такой элемент, как сопутствующая волоконно-оптическая линия связи (ВОЛС) [4]. При этом оптические волокна в составе сопутствующей ВОЛС могут использоваться не только как физическая среда для передачи данных, но и как протяженный чувствительный элемент, способный детектировать изменения различных параметров, характеризующих состояние ВЛ. В этом случае применяются специальные генерирующие устройства с лазерным источником излучения, которые посылают импульсы в «темное» оптическое волокно, а анализ обратного рассеивания позволяет определить величину воздействий вдоль всей ВЛ [4]. Кроме упомянутой технологии, на практике используются различные

способы организации мониторинга ВЛ, построенные на основе анализа температурного, нагрузочного и токового режимов [2–3, 5].

В статье приводится описание способа организации мониторинга ВЛ в случае, когда штатные системы наблюдения и мониторинга, например OTLM (Overhead Transmission Line Monitoring), оказываются неработоспособными. Например, при проведении регламентных или ремонтных работ, а также на этапе устранения аварий и последствий ЧС. Комплексный технический аудит состояния ВЛ, выведенной из эксплуатации, выполняется с применением технологического оборудования в составе так называемого автономного передвижного комплекса управления (АПКУ), который направляется в район наблюдения для проведения анализа состояния ВЛ на прилегающей территории.

Состав технических средств автономного передвижного комплекса управления

Технологическое оборудование АПКУ предназначено для развертывания на прилегающей к ВЛ территории зоны радиопокрытия пакетной широкополосной мультисервисной системы связи с подвижными объектами, в числе которых штатный персонал, имеющий в своем распоряжении соответствующие абонентские радиостанции [6–7], и БПЛА, оборудованный радиомодемом. Внешний вид опытного образца АПКУ представлен на рис. 1.

В состав технологического оборудования связи, расположенного на борту АПКУ, входит автономная базовая станция широкополосной пакетной радиосети стандарта МАКВИЛ [8], работающая в диапазоне 330–340 МГц, и станция спутниковой связи [9], позволяющая в реальном масштабе времени передавать всю информацию о текущем состоянии наблюдаемого фрагмента ВЛ на удаленный диспетчерский пункт.

Кроме того, в состав бортового оборудования АПКУ может входить универсальная интерфейсная система, позволяющая организовать взаимодействие пакетной радиосети и станции спутниковой связи, а также реализовать подключение оборудования АПКУ к штатному оборудованию измерения технических параметров ВЛ по проводным и беспроводным каналам (Wi-Fi, GSM, GPRS), в том числе и для проверки его работоспособности.

Все бортовое оборудование связи установлено внутри экранированного и термостатированного приборного отсека, внутренняя компоновка которого показана на рис. 2.

Задействованные в настоящее время для решения аналогичных задач технологии персональной спутниковой связи не отличаются высокой эффективностью использования предоставленных технических ресурсов и ориентированы на зарубежные спутниковые группировки. Реализованный в составе АПКУ технологический комплекс, построенный на основе пакетных технологий, является своеобразным концентратом нагрузки для спутникового канала, что исключает его применение для передачи локального трафика и формирует симметричный космический канал связи до удаленного диспетчерского пункта, квалифицированные специалисты которого могут координировать работу линейного персонала.

В случае необходимости персонал АПКУ запускает БПЛА [10], который передает диспетчеру АПКУ данные о состоянии ВЛ на прилегающей территории, как показано на рис. 3.

Изображение получено видеокamerой БПЛА, имеющей фиксированное фокусное расстояние, прогрессивную развертку и формат изображения 1280×720 пикселей, что позволяет выявить большинство визуально определяемых дефектов ВЛ.

Ключевые слова:
#линия электропередачи; #беспилотный летательный аппарат; #мониторинг и обследование линий электропередачи; #широкополосная пакетная радиосеть; #геостационарный спутник-ретранслятор; #абонентская радиостанция.



*Исследование выполнено при финансовой поддержке Красноярского краевого фонда науки в рамках научного проекта (код заявки 2022060208783).

ВНЕШНИЙ ВИД АВТОНОМНОГО ПЕРЕДВИЖНОГО КОМПЛЕКСА



Рис. 1

Экспериментальные исследования

В ходе натурных экспериментов, проведенных при испытаниях АПКУ в условиях, близких к реальным, были рассмотрены вопросы определения максимального расстояния, на который может удаляться БПЛА, исходя из возможности передачи на борт АПКУ необходимой технической информации и видеоданных для дальнейшей ретрансляции по спутниковому каналу.

С учетом того что передача видеoinформации с БПЛА должна проводиться в частотном диапазоне ~340 МГц, он должен оставаться на расстоянии прямой видимости антенной системы, используемой в составе АПКУ. Расстояние прямой видимости для БПЛА может быть рассчитано с использованием следующего выражения:

$$L = \sqrt{(R + h_1)^2 - R^2} + \sqrt{(R + h_2)^2 - R^2}, \quad (1)$$

где L — дальность прямой видимости БПЛА;

R — радиус Земли, м;

h_1 — высота полета БПЛА, м;

h_2 — высота подъема антенны АПКУ, м.

Графически данная зависимость выглядит, как показано на рис. 4.

Проведенные натурные эксперименты показали, что каналы связи, используемые для управления БПЛА и для передачи полезной информации, должны быть в обязательном порядке разнесены, тем самым обеспечивается максимальная устойчивость всего технологического комплекса. При этом макси-

мальная дальность реальной работы БПЛА — D_5 — оказывается меньше L , найденной в соответствии с (1), так как ограничивается величиной мощности передатчика модема $P_m = 0,3$ Вт, используемого на борту БПЛА. Так, для высоты полета БПЛА порядка 150 м (при этом обеспечивается уверенный визуальный контроль нормативных значений габаритов проводов до объектов, пересекаемых ВЛ, расстояний от Земли и дефектов опор ВЛ) дальность D_5 не превышала ~21,5 км (с учетом возможностей представленной на рис. 1 антенной системы и выдвижения мачты с антенной на высоту ~18 м).

В свою очередь, определенные ограничения на размещение АПКУ в зоне воздушных линий накладывает и необходимость использования технологий спутниковой связи. Так, использование аппаратно-программ-

ного комплекса на лесных просеках ограниченной ширины может приводить к экранированию сигналов спутникового ретранслятора кронами деревьев, расположенных на краях просеки. Например, для точки стояния космического ретранслятора a_d примерно равной текущей долготе $\lambda \sim 92^\circ$ в.д. и широте $\psi = 56^\circ$ с.ш. расположения АПКУ, расстояние от края просеки ВЛ должно быть не менее 60 м по направлению на ретранслятор. В этом случае обеспечивается радиовидимость космических аппаратов-ретрансляторов с углами места более 20° .

Характеристики аппаратно-программного комплекса на борту АПКУ определяются в основном параметрами компьютерного оборудования, которым укомплектован АПКУ. На рис. 5 представлены компьютер в составе диспетчерского центра, развернутого в АПКУ, и одна из основных страниц прикладного ПО диспетчерского центра [10].

Используя прикладное ПО, диспетчер может оперативно вызвать любую активную на данный момент радиостанцию, которая используется персоналом АПКУ для голосовой связи, или отправить в адрес этой радиостанции короткое сообщение. На рис. 6 показано меню для осуществления голосового вызова, отправки SMS и др.

Характерной особенностью описываемого комплекса является возможность организации его радиосредствами видеоконференцсвязи (ВКС), в которой могут принимать участие сотрудники, непосредственно занимающиеся комплексным осмотром ВЛ, диспетчер АПКУ и сотрудники удаленного пункта управления. Пример организации такой ВКС представлен на рис. 7.

На левой части рис. 7 показан монитор диспетчера АПКУ, на правой — экран терминала сотрудника, осуществляющего осмотр линии.

ШКАФ С ОБОРУДОВАНИЕМ СВЯЗИ В СОСТАВЕ АПКУ



Рис. 2

ИЗОБРАЖЕНИЕ ВЛ, ПЕРЕДАННОЕ С БПЛА

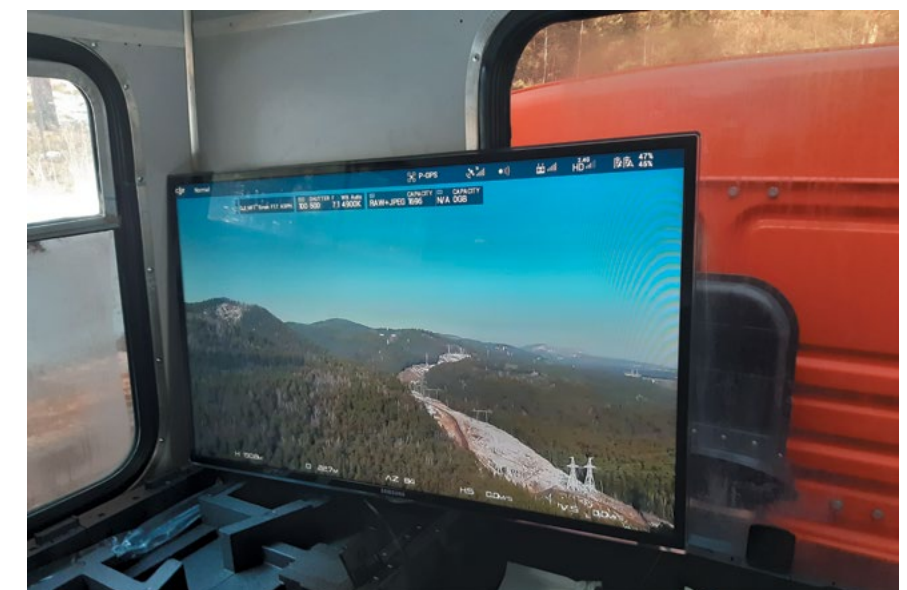


Рис. 3

При проведении сессий ВКС, которые могут быть организованы непосредственно в ходе проведения осмотров ВЛ, доступно документирование выявленных дефектов в виде цифровых фотодокументов или записи фрагмента сессии ВКС. Использо-

вание данного функционала АПКУ возможно также для фиксации результатов ремонтных работ, проведенных на ВЛ.

Наряду с уже описанным функционалом каждая из используемых ра-

ЗАВИСИМОСТЬ ДАЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ СВЯЗИ ОТ ВЫСОТЫ ПОЛЕТА БПЛА И ВЫСОТЫ ПОДЪЕМА ВЫДВИЖНОЙ АНТЕННЫ АПКУ

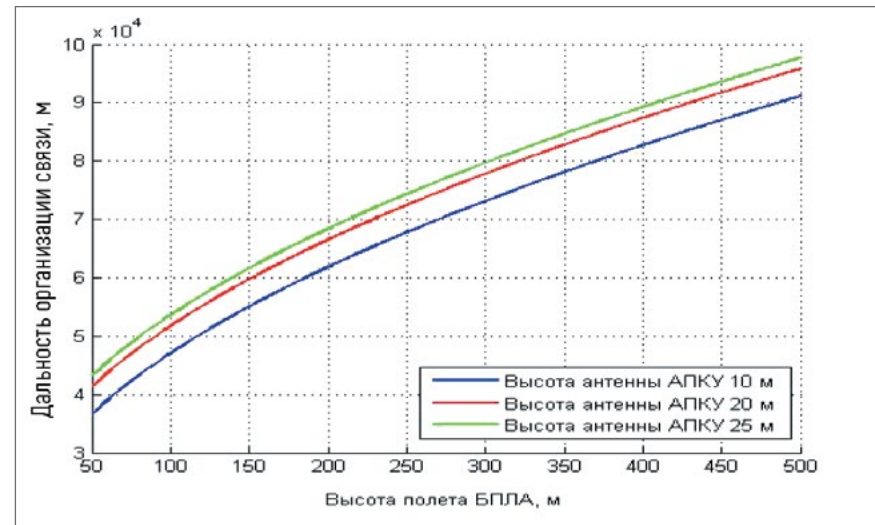


Рис. 4

и чрезвычайных ситуаций для анализа и формирования необходимых рекомендаций по проведению регламентных работ или ликвидации наблюдаемой чрезвычайной ситуации.

Весь штатный персонал АПКУ, имеющий в своем распоряжении абонентские радиостанции, может быть поделен на группы в соответствии с направлениями выполняемых работ. Условия проведения радиообмена для упомянутых групп оказываются более щадящими по сравнению с БПЛА в части расстояния до АПКУ, но, с другой стороны, радиообмен может быть затруднен особенностями рельефа на территории проведения регламента и наличием плотных лесных насаждений. Для диапазона частот $\sim f_0 = 340$ МГц и выделенного для работы системы служебной радиосвязи участка спектра Δf шириной порядка 2 МГц при расстояниях 3–5 км, на которых производились натурные эксперименты, упомянутые факторы существенного влияния не оказали. С учетом того, что при практическом использовании АПКУ в реальных ситуациях будут существовать возможности увеличения используемой полосы частот до 5 МГц, весьма вероятным представляется достижение теоретически

диостанций определяет свое местоположение с использованием системы спутниковой навигации. И это местоположение также отображается на экране диспетчерского пункта. Результаты геолокации абонентских радиостанций представлены на рис. 8.

ный функционал и использованного при проведении натурных экспериментов, представлены на рис. 9.

Вся полученная информация может быть размещена на внутренних телекоммуникационных ресурсах АПКУ или средствами спутниковой связи переправлена в стационарный диспетчерский пункт мониторинга нештатных

КОМПОНЕНТЫ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА



Рис. 5

полученных значений для дальности организации связи.

■ Заключение

Испытания опытного образца автономного передвижного комплекса управления — мобильного узла пакетной коммутации с базовой станцией системы служебной радиосвязи, дополненного комплектом интерфейсного оборудования и оборудованием космической связи, наглядно продемонстрировали способность АПКУ в кратчайшие сроки организовать связь на удаленной труднодоступной территории, которая расположена вдоль трассы воздушной линии электропередачи, с предоставлением линейному персоналу многочисленных возможностей по использованию дополнительных сервисных функций.

Проведенный анализ результатов натурных испытаний показал эффективность альтернативных способов организации связи, необходимой при выполнении регламентных

МЕНЮ ДЛЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДИСПЕТЧЕРА АПКУ И АБОНЕНТСКОЙ РАДИОСТАНЦИИ



Рис. 6

работ и ликвидации последствий аварий, где автономный комплекс управления наряду с традиционными функциями дополнительно служит концентратором локального мультисервисного трафика, при необходимости ретранслируемого средствами космической связи.

Использование БПЛА в составе АПКУ позволяет решать широкий круг за-

дач по эксплуатации, комплексному техническому аудиту и диагностике состояния компонентов ВЛ и других объектов электроэнергетики на расстояниях до 20 км.

Принципиально новым подходом можно считать возможность интеграции информации, получаемой с БПЛА, в систему служебной радиосвязи, которая фактически становится технологией оперативного радиодоступа для линейного персонала.

Такое комплексное применение БПЛА с борта АПКУ позволяет существенно увеличить оперативность аудита текущего состояния ВЛ и проверки работоспособности отдельных ее элементов, а также сократить сроки ремонтно-профилактических работ.

Помимо этого, штатный персонал АПКУ может поддерживать ставшую уже традиционной индивидуальную оперативную связь, а также связь в группах на расстояниях 5–6 км даже в условиях существенных

ОРГАНИЗАЦИЯ ВКС ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ОБСЛЕДОВАНИЯ ВЛ

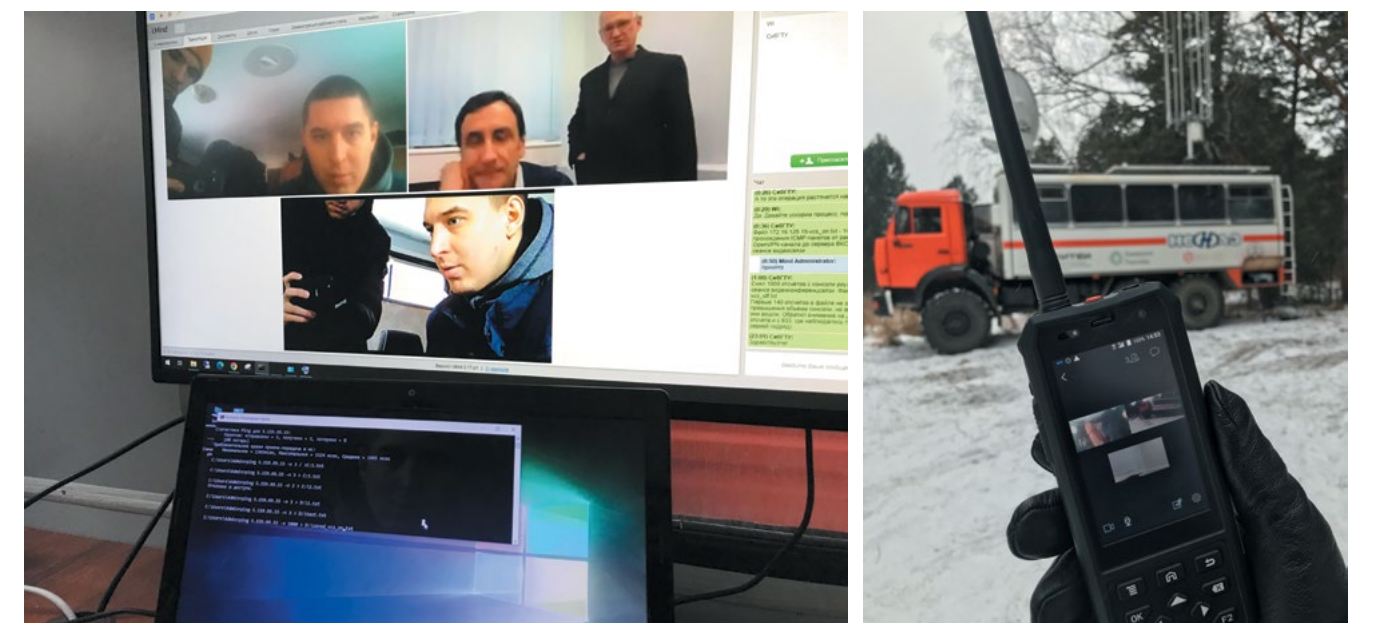
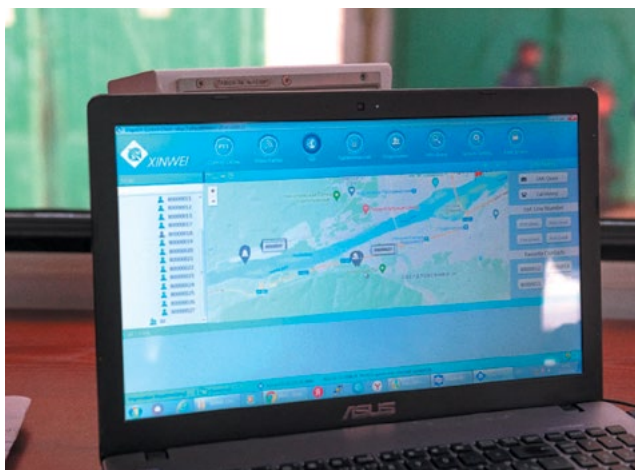


Рис. 7

МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ РАДИОСТАНЦИЙ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ПЕРСОНАЛОМ АПКУ ПРИ ВИЗУАЛЬНОМ ОСМОТРЕ ВЛ

Рис. 8



неровностей рельефа вдоль трассы ВЛ, при этом передавая не только голосовую информацию, но и видеозображения реального времени как в диспетчерский пункт, расположенный внутри АПКУ, так и на технические средства удаленного стационарного диспетчерского пункта.

Дополнительным функционалом, который успешно реализуется описываемым комплексом, является возможность оперативной организации сессий ВКС между радиостанциями линейного персонала, диспетчером АПКУ и удаленным стационарным пунктом управления. Как показали результаты натурных экспериментов, для проведения сеанса ВКС, в котором одновременно представлены не более четырех участников, требуется полоса частот в спутниковом канале, не превышающая 1 МГц.

Актуальность рассмотренных задач аудита состояния и мониторинга ВЛ определяет необходимость скорейшей разработки новых организационно-технических решений, позволяющих обеспечить проведение дистанционного контроля объектов электроэнергетики и электроснаб-

ВАРИАНТЫ АБОНЕНТСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПЕРСОНАЛА АПКУ

Рис. 9



жения с использованием средств беспилотной авиации, и на основе полученной информации принять оперативные управляющие решения, направленные на поддержание заданного стандартом уровня технической готовности и безопасности ВЛ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Самарин А.В., Рыгалин Д.Б., Шкляев А.А. Современные технологии мониторинга воздушных электросетей ЛЭП//Естественные и технические науки. 2012. № 1, 2. С. 296–304.
2. Скрыбина А.В. Современные системы мониторинга ЛЭП и энергооборудования//Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры. Материалы Всероссийской научно-методической конференции. Оренбургский государственный университет, 2017. С. 525–527.
3. Самарин А., Масалов В. Современные технологии мониторинга воздушных электросетей ЛЭП//Control Engineering, Россия. 2013. № 3 (45). С. 88–94.
4. Селиванов А.С., Черников Д.Ю., Шакалов И.А., Якушев В.Н. Мониторинг состояния ЛЭП с использованием оптоволоконных технологий. В сб.: Современные проблемы радиоэлектроники. Материалы XXII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, посвященной 125-й годовщине Дня радио.

Сибирский федеральный университет, 2020. С. 258–263.

5. СТО 56947007–29.240.55.224–2016. Методические указания по определению мест повреждений ВЛ напряжением 110 кВ и выше. Стандарт организации ПАО «ФСК ЕЭС». URL: https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/STO_56947007-29.240.55.224-2016_new1.pdf
6. XinWei MT359. [Электронный ресурс]: официальный сайт. URL: <http://www.comminform.ru/cat/cat/xinwei-mt359/> (дата обращения 11.10.2022).
7. XinWei W1369. [Электронный ресурс]: официальный сайт. URL: <http://www.comminform.ru/cat/cat/xinwei-w169/> (дата обращения 11.10.2022).
8. Beijing Xinwei Telecom Technology Co., Ltd Система мобильного широкополосного доступа McWiLL // НИРИТ. 2011
9. ГОСТ Р 58166–2018. Национальный стандарт Российской Федерации. Технические требования к радиointерфейсу широкополосной подвижной радиосвязи (ШПР). Организация протоколов и алгоритмов работы на канальном и физическом уровнях. Основные параметры и технические требования. М.: Стандарт-Информ, 2018.
10. Официальный портал АО НПП «Радиосвязь». URL: <https://krtz.su/> (дата обращения 11.05.2023).
11. Валиев А. Эксплуатация беспилотников в электросетевом комплексе России//Электроэнергия. 2011. № 6.