

УДК 621.316.925.

## ПРИМЕНЕНИЕ УСТРОЙСТВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 220 КВ ЗАПАДНОГО И ЦЕНТРАЛЬНОГО РАЙОНОВ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)

Надежное электроснабжение потребителей является важнейшей составляющей энергетической безопасности – состояния защищенности экономики и населения страны от угроз национальной безопасности в сфере энергетики. Обеспечение энергетической безопасности означает обеспечение надежного предоставления энергетических услуг потребителям по приемлемой для потребителя стоимости. В связи с этим значимость точных и надежных устройств определения места повреждения возрастает. Рассмотрен опыт эксплуатации и перспективы реализации программы установки волновых устройств определения места повреждения на линиях электропередачи 220 кВ, расположенных в Западном и Центральном энергорайонах Республики Саха (Якутия).

АВТОРЫ:

Львов А.П.,  
филиал ПАО «Россети» — МЭС Востока

Лачугин В.Ф., д. т. н.,  
«Россети Научно-технический центр»

Пинчуков П.С., к. т. н.,  
Дальневосточный государственный  
университет путей сообщения

Киселев А.Ю.,  
филиал ПАО «Россети» —  
Якутское ПМЭС

Ключевые слова: #линии электропередачи; #Западный и Центральный энергорайоны Республики Саха (Якутия); #аварийные отключения; #определение места повреждения; #устройства; #послеаварийный обход.

Воздушная линия электропередачи 220 кВ Томмот — Майя

Среднегодовой прирост потребления электроэнергии в объединенной энергетической системе (ОЭС) Востока за последние 5 лет составил 5,7% (табл. 1). В период до 2028 года потребление электроэнергии в ОЭС Востока должно до-

стигнуть 60,01 млрд кВт·ч. Темпы прироста определяются экономическим развитием региона — динамикой промышленного производства, строительством объектов транспортной и социальной инфраструктуры, крупными потребителя-



Фото: Якутское ПМЭС

ми, присоединенными к электрическим сетям ЕНЭС и продолжающими увеличивать энергопотребление: ООО «Транснефть — Дальний Восток», ООО «Транснефть — Восток», ОАО «РЖД», АО «Амурсталь», АО «Ургалуголь», ОАО «Спасскцемент», ООО «Кимкано-Сутарский горнообогатительный комбинат».

По данным АО «СО ЕЭС» ОДУ Востока, 26 января 2023 г. в 11:00 по местному времени в ОЭС Востока установлен новый исторический максимальный уровень потребления электрической мощности — 7552 МВт при среднесуточной температуре наружного воздуха  $-28,0^{\circ}\text{C}$ . Это значение на 53 МВт больше максимума, достигнутого в предыдущем осенне-зимнем сезоне (ОЗС) 2021–2022 гг.

Важнейшей составляющей надежного электроснабжения является безаварийная эксплуатация воздушных линий электропередачи (ВЛ) [1]. При этом следует отметить, что для ряда районов ОЭС Востока характерен ввод графиков ограничения потребителей при аварийных отключениях магистральных ВЛ 220–500 кВ в период ОЗС 2022–2023 гг. Среди этих районов: западная часть энергосистемы Амурской области, южная часть энергосистемы Приморского края, в том числе г. Владивосток, а также Западный энергорайон Республики Саха (Якутия).

В 2018 году филиал ПАО «Россети» — МЭС Востока (далее — МЭС Востока) завершил реализацию инвестиционного проекта «Строительство ВЛ 220 кВ «Нерюнгринская ГРЭС — Нижний Куранах — Томмот — Майя» с ПС 220 кВ «Томмот» и ПС 220 кВ «Майя». Ввод в работу объектов строительства и технологическое присоединение электрических сетей 35–110 кВ ПАО «Якутскэнерго» к ПС 220 кВ «Майя» позволили с 1 января 2019 года, согласно Постановлению Правительства Российской Федерации от 08 декабря 2018 года № 1496,

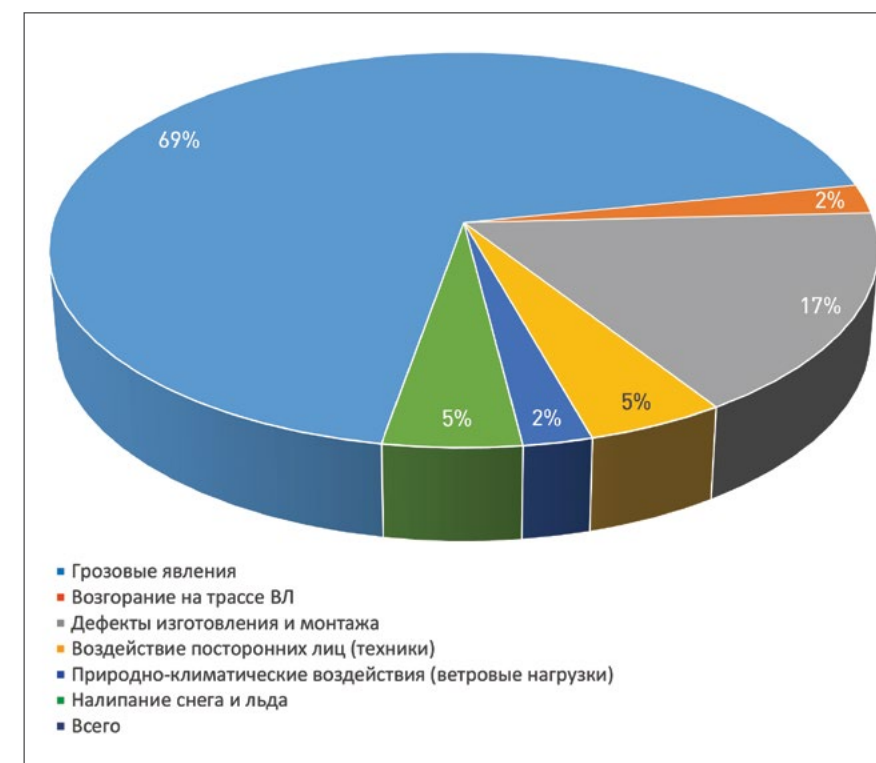
СРЕДНЕГОДОВОЙ ПРИРОСТ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПО ОЭС ВОСТОКА В ПЕРИОД 2018–2022 ГГ.

Таблица 1

Наименование	2018	2019	2020	2021	2022	Среднегодовой прирост за 2018–2022 гг.
Потребление электрической энергии, млрд кВт·ч	34,198	40,446	41,843	42,734	43,479	9,281
Годовой темп прироста, %	2,89	18,27	3,45	2,13	1,74	5,7

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АВАРИЙНЫХ ОТКЛЮЧЕНИЙ НА ВЛ 220 КВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОГО И ЦЕНТРАЛЬНОГО ЭНЕРГОРАЙОНОВ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ), ЗА ПЕРИОД 2019–2023 ГГ.

Рис. 1



обеспечить синхронную работу Западных и Центральных энергорайонов Республики Саха (Якутия) с ЕНЭС РФ с ОЭС Востока. В настоящее время Западный и Центральный энергорайоны республики работают в со-

ставе филиала ПАО «Россети» — МЭС Востока, в том числе по факту передачи в собственность ПАО «Россети» объектов единой национальной энергетической сети (ЕНЭС) 220 кВ, ранее находившихся в собственности

ПРИЧИНЫ АВАРИЙНЫХ ОТКЛЮЧЕНИЙ ВЛ 220 КВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОГО И ЦЕНТРАЛЬНОГО ЭНЕРГОРАЙОНОВ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ), ЗА ПЕРИОД 2019–2023 ГГ.

Таблица 2

Причина аварийных отключений ВЛ	2019	2020	2021	2022	2023	2019–2023 гг.	
						всего	%
Грозовые явления	4	6	2	14	3	29	69,05
Возгорание на трассе ВЛ	0	0	0	0	1	1	2,38
Дефекты изготовления и монтажа	4	2	0	1	0	7	16,67
Воздействие посторонних лиц и техники	1	0	0	0	1	2	4,76
Природно-климатические воздействия ветровых нагрузок	1	0	0	0	0	1	2,38
Налипание снега и льда на провода и тросы	1	1	0	0	0	2	4,76
<b>Итого</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>15</b>	<b>5</b>	<b>42</b>	<b>100</b>

КОЛИЧЕСТВО АВАРИЙНЫХ ОТКЛЮЧЕНИЙ ВЛ 220 КВ ЗАПАДНОГО И ЦЕНТРАЛЬНОГО ЭНЕРГОРАЙОНОВ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ) ЗА ПЕРИОД 2019–2023 ГГ. С ПОГРЕШНОСТЬЮ ОМП БОЛЕЕ 2 КМ МЕЖДУ РАСЧЕТНЫМ МЕСТОМ ПОВРЕЖДЕНИЯ (РМП) И ФАКТИЧЕСКИМ МЕСТОМ ПОВРЕЖДЕНИЯ (ФМП)

Таблица 3

Количество аварийных отключений, шт.	Количество отключений с разницей между РМП и ФМП более 2 км, шт.	Процент от общего количества отключений событий с разницей между РМП и ФМП более 2 км, %
42	20	48

УСТРОЙСТВА ОМП, УСТАНОВЛЕННЫЕ НА ВЛ 220 КВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)

Таблица 4

Устройство	Производитель	Наименование	Количество	
			всего	%
ОМП по параметрам аварийного режима	АО «Радиус Автоматика», «НПП Бреслер», ООО НПП «ЭКРА»	ИМФ-3Р, Сириус-2, Бреслер-0107.ОМП, БЭ2704	65	56,0
Регистраторы аварийных событий	«НПП Бреслер», Prosoft, НПФ «ЭНЕРГОСОЮЗ», ООО НПП «ЭКРА»	Черный ящик, Бреслер-0107.910, РЭС-3, НЕВА, БЭ2704	33	28,4
ВОМП	ООО «Релематика», «НПП Бреслер»	ТОР 300, Бреслер-0107.ВОМП	18	15,5

ОАО «ДВЭУК». В связи с активным развитием магистрального комплекса региона в июле 2022 г. для обеспечения надежной и безопасной эксплуатации магистральных сетей Республики Саха (Якутия) был создан филиал ПАО «Россети» — Якутское предприятие магистральных электрических сетей (ЯПМЭС).

ВЛ в зоне эксплуатационной ответственности ЯПМЭС проходят в районах вечной мерзлоты, по сопкам или болотистой местности, и в случае повреждения поиск его места возникновения может быть достаточно продолжительным. Характерной особенностью Западного и Центрального энергорайонов Республики Саха (Якутия) является низкий уровень транспортной инфраструктуры, высокая зависимость от сезонных (зимних) автодорог и водного транспорта, что затрудняет проведение послеаварийных обходов. При этом особенностью энергопотребления данных районов является высокая доля промышленного производства и низкий уровень резервирования питания населенных пунктов, что при повреждениях ВЛ, особенно с неуспешным автоматическим повторным включением (АПВ), приводит к ограничениям потребителей. На рис. 1 и в табл. 2 приведена статистика причин аварийных отключений ВЛ 220 кВ, расположенных на территории Западного и Центрального энергорайонов Республики Саха (Якутия) за период 2019–2023 гг. Около 75% коротких замыканий (КЗ) на ВЛ имеют неустойчивый характер, при котором ВЛ после АПВ остается под напряжением.

В табл. 3 приведены данные о числе отключений ЛЭП 220 кВ Западного и Центрального энергорайонов Якутского ПМЭС за последние 5 лет, при которых разница между расчетным и фактическим местом повреждения составила более 2 км. Такая неточность расчета приводит к существенному увеличению затрат на проведение послеаварийных осмотров,

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ УСТРОЙСТВ ОМП НА ДВУХЦЕПНОЙ КВЛ 220 КВ ТОММОТ — МАЙЯ

Таблица 5

№	Наименование линии, дата и время отключения	Расчетное место повреждения устройства ВОМП от ПС Томмот, км	Расчетное место повреждения устройства ПАР от ПС Томмот, км	Фактическое место повреждения, км	Погрешность устройства ВОМП, %	Погрешность устройства ПАР, %
1	Томмот — Майя II цепь, 22.05.2022; 12:50	61	57,9	61,8	1,29	6,31
2	Томмот — Майя II цепь, 03.07.2022; 13:41	314,5	335,9	314,1	0,13	6,95
3	Томмот — Майя I цепь, 03.07.2022; 16:41	210,9	212,1	208,2	1,28	1,87
4	Томмот — Майя I цепь, 03.08.2022; 07:36	181,5	182,4	181,3	0,11	0,61
5	Томмот — Майя II цепь, 03.08.2022; 09:56	181,5	182,5	181,3	0,11	0,66

отвлекающих эксплуатационный персонал от проведения неотложных плановых работ, и усложняет процесс поиска повреждения, что настоятельно требует применения точных и надежных автоматических приборов определения места повреждения (ОМП) [2].

В Якутском ПМЭС все ВЛ 220 кВ протяженностью более 20 км оснащены приборами ОМП дистанционного автоматического измерения. В табл. 4 приведен перечень устройств ОМП различных производителей на ВЛ 220 кВ Республики Саха (Якутия). При этом количество устройств ОМП (ВОМП), обладающих наиболее высокой точностью, пока еще невелико.

При повреждении на ВЛ, оснащенных устройствами ВОМП [2, 3], продолжительность проведения послеаварийных обходов и затраты на их проведение существенно снизились. Причиной является более точное определение зоны обхода со стороны ВОМП, что позволяет оптимизировать затраты на проведение послеаварийных обходов. Это наглядно иллюстрируют данные

опыта эксплуатации системы ВОМП на двухцепной кабельно-воздушной линии (КВЛ) 220 кВ Томмот — Майя в 2021–2023 гг. при КЗ, все из которых были вызваны грозовыми КЗ с успешным АПВ (табл. 5). Точность системы ВОМП существенно превосходит по результатам точность установленных на этой же линии устройств ОМП, реагирующих на параметры аварийного режима (ПАР) промышленной частоты. Следует отметить, что для волновых методов

ОМП эта точность достигнута на фоне помех высокого уровня, вызываемых грозовыми разрядами.

Точность волновых ОМП позволяет значительно упростить поиск следов КЗ, которые зачастую не видны при низовом обходе и требуют проведения верхового обхода с анализом фотоматериалов. На рис. 2 показаны такие следы КЗ, обнаруженные в результате проведения послеаварийного осмотра КВЛ Томмот — Майя II цепь после отключения 22.05.2023 г.

Точность ВОМП особенно важна при поиске повреждений на труднодоступных ВЛ, расположенных на территории Республики Саха (Якутия). В связи с этим планируется установка ВОМП на строящихся объектах — ПП 220 кВ Нюя и ПС 220 кВ Чаянда, а также на смежных подстанциях 220 кВ. В Якутском ПМЭС предложена к реализации программа установки ВОМП на ВЛ, расположенных на территории Западного и Центрального энергорайонов Республики Саха (Якутия). Схема реализации этой программы приведена на рис. 3.

ДОСТИГНУТАЯ ВЫСОКАЯ ТОЧНОСТЬ УСТРОЙСТВА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ НА ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ БОЛЬШОЙ ПРОТЯЖЕННОСТИ, ЭКСПЛУАТИРУЕМОЙ В СЛОЖНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ, — ЗАЛОГ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ В ПОСЛЕАВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ.

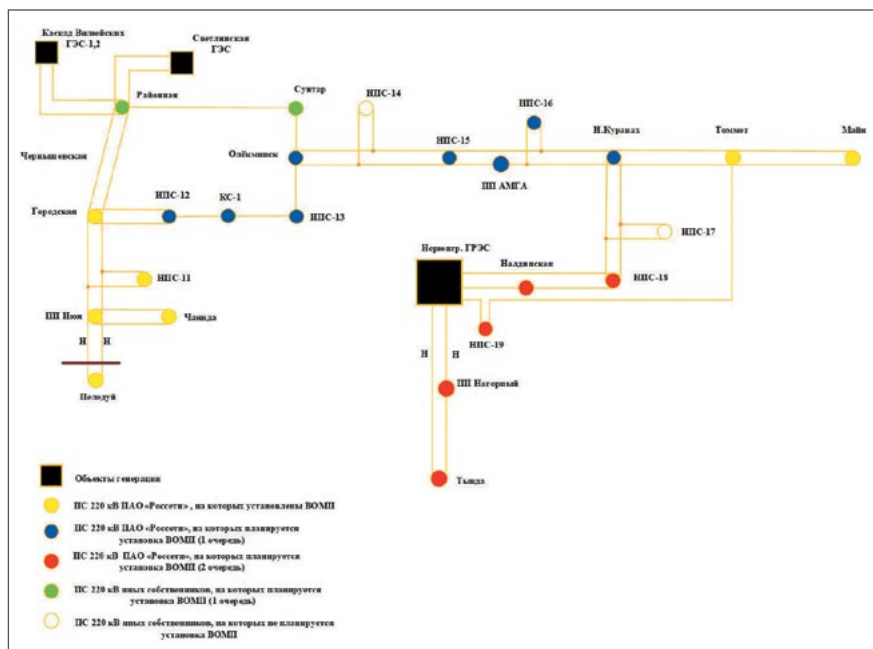
СЛЕДЫ КЗ, ОБНАРУЖЕННЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРОВЕДЕНИЯ ПОСЛЕАВАРИЙНОГО ОСМОТРА КВЛ ТОММОТ – МАЙЯ II ЦЕПЬ

Рис. 2



СХЕМА РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ УСТАНОВКИ ВОМП НА ВЛ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОГО И ЦЕНТРАЛЬНОГО ЭНЕРГОРАЙОНОВ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)

Рис. 3



Для дополнительного обоснования необходимости установки ВОМП в марте 2024 г. в ЯПМЭС запланировано проведение опыта короткого замыкания на ВЛ 220 кВ Городская – Нюя № 1. При этом облет зоны повреждения будет осуществлен с помощью беспилотного летательного аппарата, маршрут движения которого будет задан с помощью показаний ВОМП.

**Заключение**

Волновой метод двусторонних измерений, основанный на измерении времени распространения электромагнитных волн по ВЛ от места КЗ до каждого из концов ВЛ, где устанавливаются терминалы ОМП, как показывают результаты опыта эксплуатации, позволяет достичь более высокой точности, по сравнению с методами, использующими параметры режима ВЛ на промышленной частоте, что приводит к снижению затрат на проведение послеаварийных обходов.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Доктрина энергетической безопасности Российской Федерации. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 13 мая 2019 г. № 216.
2. Лачугин В.Ф., Панфилов Д.И., Попов С.Г., Платонов П.С., Алексеев В.Г., Ключкин Н.Г., Подшивалин А.Н. Разработка и применение устройств определения места повреждения на линиях электропередачи с использованием волновых методов // Энергия единой сети. 2021. № 5–6. С. 50–66.
3. Львов А.П. К вопросу об эффективности поиска места повреждения при аварийных отключениях на ВЛ в МЭС Востока с применением волновых приборов ОМП // Энергия единой сети. 2022. № 3–4. С. 42–49.

Для цитирования: Львов А.П., Лачугин В.Ф., Пинчук П.С., Киселев А.Ю. Применение устройств определения места повреждения на воздушных линиях электропередачи 220 кВ Западного и Центрального районов Республики Саха (Якутия) // Энергия единой сети. 2023. № 5–6 (71). С. 24–28.