

<https://doi.org/10.26160/2474-5901-2021-27-37-42>

**АНАЛИЗ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОТКАЗОВ И НАРУШЕНИЙ
НОРМАЛЬНОЙ РАБОТЫ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИИ
РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)**

Хоютанов А.М., Васильев П.Ф., Давыдов Г.И.

Ключевые слова: локальная энергетика, воздушные линии, подстанции, отказы, Крайний Север, мерзлота.

Аннотация. В статье рассматриваются влияние холодного климата и причины возникновения отказов и аварийных режимов работы в электроэнергетической системы, функционирующей на территории Республики Саха (Якутия).

**ANALYSIS OF THE CAUSES OF FAILURES AND DISRUPTIONS TO
THE NORMAL OPERATION OF ELEMENTS OF ELECTRIC POWER
SYSTEMS OPERATING ON THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF
SAKHA (YAKUTIA)**

Khoiutanov A.M., Vasilyev P.F., Davydov G.I.

Keywords: local power engineering, overhead lines, substations, failures, the Far North, permafrost.

Abstract. The article examines the influence of a cold climate and the reasons for the occurrence of failures and emergency modes of operation in the electric power system operating on the territory of the Republic of Sakha (Yakutia).

Надёжность и долговечность энергообъектов, в том числе воздушных линий электропередачи в условиях Севера, напрямую зависит от учёта инженерно-геологических, климатических и геокриологических условий местности их строительства. Так, в районах Крайнего Севера под воздействием сложных инженерно-геологических, климатических и геокриологических условий, регулярно происходят нарушения в работе действующих линий электропередачи [1].

Наличие сильнопучинистых грунтов, формирование просадочных рытвин в местах ухода грунта, термокарст, растрескивание, пластические деформации грунтов приводит к смещению и деформации фундаментов опор линий электропередачи и к нарушению геометрического состояния конструкции их опор. Морозное пучение является основной причиной аварийного состояния свайных фундаментов опор ВЛ. Вследствие деградации многолетнемерзлых грунтов прочность их закрепления в грунтовом основании резко снижается из-за морозного пучения свай фундаментов опор, а с учётом сильного ветрового воздействия на опору, совпадающего по времени с сезонным оттаиванием верхнего слоя грунта (обычно в осенний период), фундаменты теряют устойчивость, что приводит к наклонам и деформациям опор. Действие сил морозного пучения грунтов и деформация фундаментов ухудшает условия эксплуатации ВЛ, вызывает повреждения их конструктивных элементов, ежегодно приводит к большим затратам на ремонт ВЛ. Наиболее часто встречающиеся повреждения фундаментов от морозного пучения обусловлены

составом грунтов в зоне сезонного промерзания и оттаивания, состоянием природной влажности грунтов и их увлажнением, а также глубиной и скоростью их сезонного промерзания [2].

Климатические особенности Севера в целом характерны сильными ветрами (табл. 1) [3].

Табл. 1. Ветровые режимы районов Севера

Районы Севера	Районы по скоростному напору ветра)	Средняя годовая скорость ветра, м/с	Максимальная скорость, м/с
Тюменская область:			
- Основная территория	II	3,1	21
- Северная часть	III	7,0	27
- Полуостров Ямал	V-VI	7-8	30
Красноярский край:			
- Основная территория	II-III	2	27
- Северное побережье	VI-VII	4-5	40
- Полуостров Таймыр	VI	4	36
Республика Саха (Якутия):			
- Дельты рек	VI-VII	3,0-6,0	38
- Центральная зона	II	0,9-4,5	24
- Северная часть	V	3,5-6,8	36
Магаданская область:			
- Северная часть	VI-VII	5,6	40
- Центральная зона	III-IV	1,0-2,0	30
Чукотка	V-VI	5,6	40
Камчатский край:			
- Восточная часть	VI-VII	6,0	40
- Западная часть	V-VII	5,7	40
- Внутренние районы	II-III	1-2	27
Сахалинская область	III-VII	2-5	27-40

Но ветровые воздействия на электрические сети в центральной части Республики Саха (Якутия) являются умеренными технологические нарушения, связанные с ветровыми воздействиями, составляют небольшую часть общего числа технологических нарушений, но, в большинстве случаев, является сопутствующим или вторичным фактором.

Нередки на Севере и гололедные отложения на проводах ВЛ. Основная территория Республики Саха (Якутия) относится к I району. Наиболее сложной по гололеду является Южная Якутия. В течение зимы на всей рассматриваемой территории устанавливаются низкие температуры воздуха (-50°C и ниже) при которых возможно образование только ажурной кристаллической изморози. И только во время оттепелей, в те редкие случаи, когда происходит вторжение относительно теплого и влагонасыщенного

воздуха на эту территорию, происходит образование реже гололеда, а чаще зернистой изморози (куржака). Зачастую гололедные аварии (инциденты) связаны со сбросом гололёдно-изморозевых отложений и подскоком провода с последующим перекрытием на грозотрос или соседние фазы.

Грозовая активность в Якутии характеризуется большой неравномерностью. На севере среднегодовая продолжительность гроз менее 10 часов. В центральной Якутии от 10 до 20 часов. В южной Якутии количество гроз и их продолжительность составляет от 20 до 40 часов. Грозовые отключения, связанные с атмосферными перенапряжениями, являются одной из распространенных причин отключения ВЛ. Причинами грозных отключений являются удар молнии в трос или в опору, пробой воздушной изоляции через тросовую защиту (удар непосредственно в провод), обратные перекрытия с опоры на провод. Подавляющее большинство грозных отключений сопровождается успешным автоматическим повторным включением. Основную долю грозных отключений составляют, как правило, однофазные короткие замыкания.

При этом дополнительное воздействие опасных явлений погоды (ветер, гололёдно-изморозевые отложения, грозы и пр.), приводят к более частым технологическим нарушениям в работе электросетевого комплекса. Из-за высоких удельных электрических сопротивлений грунтов на территории расположенной в условиях Севера не обеспечивается нормируемое сопротивление заземления, вследствие чего, при ударах молнии в грозотросы происходят грозные отключения ВЛ по причине обратных перекрытий линейной изоляции [2].

В связи с этим опоры ВЛ, их фундаменты, провода и грозозащитные тросы требуют постоянного обследования, обслуживания и ремонта.

Анализ и обработка статистических данных, позволили определить распределение аварий, отказов и повреждений по основным объектам системы электроснабжения в Республике Саха (Якутия) (табл. 2).

Табл. 2. Распределение аварий, отказов и повреждений ВЛ и подстанций по электросетям, %

Объекты	Электрические сети			В целом
	Центральные	Западные	Южно-Якутские	
ВЛ	60,7	53,2	78,2	71,5
КЛ	16,3	13,7	4,3	6,9
Подстанции	23,0	33,1	17,5	21,6

Как видно из таблицы наиболее уязвимыми объектами являются воздушные линии электропередачи (71,5%).

Для повышения надёжности технологического функционирования электрических сетей, необходим комплекс мер, направленных на снижение воздействия враждебных факторов на конструкции опор, их фундаменты, провода и грозозащитные тросы, а также снижение влияния вредных

климатических, инженерно-геологических, геокриологических и других природных факторов.

Все вышеперечисленные факторы в конечном счёте приводят к серьёзным технологическим нарушениям работы всего электросетевого комплекса. Поэтому все выявленные причины отказов ВЛ были распределены по трем группам:

I группа – причины выхода из строя ВЛ вследствие сторонних воздействий;

II группа – отказы ВЛ, происшедшие в результате дефектов монтажа, недостатка эксплуатации, неправильного действия ремонтного персонала;

III группа – причины выхода из строя ВЛ в результате воздействия климатических факторов и недостатков конструкций.

Распределение отказов ВЛ по указанным группам причин приведены в таблице 3. Как видно, 43% отказов на ВЛ являются результатом воздействия климатических факторов.

Анализ работы подстанционного оборудования показал, что наблюдается увеличение потока отказов на зимние месяцы, когда температура воздуха значительно понижается, а также в весенние месяцы, что связано с перепадами температур.

В целом влияние низких температур на надежность работы элементов подстанций составляет 25% от всех отказов, и из них большинство связано с работой трансформаторов (табл. 4).

Табл. 3. Распределение отказов ВЛ по указанным группам причин, %

Группа причин отказов	Распределение отказов
I группа	41,0
II группа	16,0
III группа	43,0

Табл. 4. Распределение аварий и отказов трансформаторов подстанций по группам причин

Причина аварий и отказов	Процент аварий и отказов, %
Отключения, связанные с повреждениями обмоток	14
Ошибочные действия персонала	16
Ложные действия защиты	22
Повреждения переключателей регулировочных устройств	2
Отключения, вызванные резким изменением температуры окружающей среды	18
Прочие причин	28

Выявлено, что резкие перепады суточных температур приводят к постоянной угрозе недопустимого снижения уровня изоляционного масла в расширителях и баках трансформаторов и оголению обмоток фаз, и пробую

изоляции, что требует постоянного контроля над уровнем масла. Также при отрицательных температурах происходит увеличение вязкости масла, что приводит к ухудшению его циркуляции и охлаждения обмоток трансформатора. Воздействие холода на резинотехнические уплотнители приводит к снижению их эластичности и, как следствие, утечке масла между крышей бака и корпусом трансформатора.

Анализ опыта эксплуатации защиты подстанций от атмосферных перенапряжений показывает, что в условиях Севера целесообразно применение вентильных разрядников и ограничителей напряжения [2].

Экстремально низкие температуры, увеличивают вязкость масла вследствие чего, уменьшается скорость гашения дуги в масляных выключателях открытых распределительных устройств (таблица 5). Приводы механизмов включения отключающих аппаратов выходят из строя из-за замерзания смазывающего вещества между подвижными частями.

Распределение аварий и отказов по элементам конструкции разъединителей, отделителей и короткозамыкателей показаны в таблице 6. Отмечается недостаточная надежность работы элементов разъединителей РЛНД-110, 220, в частности, блокирующих устройств и пальцев замков выключателей [2].

Табл. 5. Распределение аварий и отказов по элементам конструкций выключателей

Повреждения элементов и причины	Процент аварий и отказов, %
Отказ в работе привода выключателей в т.ч.:	49
а) неполадки в механической части привода;	46
б) неполадки в электрической части	3
Пробой или повреждение изоляции вводов	15
Повреждения дугогасящей камеры	11
Ложная работа релейной защиты	8
Неправильные действия персонала	11
Дефекты завода-изготовителя	3
Прочие	3

Табл. 6. Распределение аварий и отказов по элементам конструкций разъединителей, отделителей, короткозамыкателей

Повреждения элементов и причины	Процент аварий и отказов, %
Деформация рабочих пружин	6
Дефекты контактных соединений	6
Отказы в работе привода	11
Повреждения опорной изоляции	30
Некачественный ремонт	6
Отказы в работе из-за обледенения	30
Прочие	11

Эксплуатация кабельных связей на подстанциях показывает, что 22% из общего числа повреждений связаны с климатическими условиями и наибольшее количество повреждений кабельных линий происходит в весенне-осенний период, что связано с мерзлотно-грунтовыми процессами, вызывающими повреждения соединительных муфт, разрыв брони кабелей и т.д.

Также согласно статистическим данным, увеличение потока отказов, вызываемых человеческим фактором, находится в прямой зависимости от мощности и сложности подстанции. Необходимо отметить, что отказы подстанционного оборудования закрытых распределительных устройств намного реже, чем открытых [1].

Список литературы

1. Дордин Ю.Р. Повышение качества электроснабжения в экстремальных условиях Севера / Ю.Р. Дордин, Л.И. Аргунов, О.О. Филиппов. – Якутск: Компания Данил Алмас, 2010. – 160 с.
2. Кобылин В.П. Повышение эксплуатационной надежности электросетевого хозяйства на Севере. – Новосибирск: Наука, 2006. – 223 с.
3. Кобылин В.П. Перспективы развития электроэнергетики Республики Саха (Якутия) и Востока России: сборник научных статей / В.П. Кобылин, В.А. Седалищев, Р.П. Ли-Фир-Су, А.В. Кобылин // 13 научно-техн. конф. Энергетика: экология, надежность, безопасность. – Томск, 2008. – С. 38-41.

References

1. Dordin Yu.R. Improving the quality of power supply in extreme conditions of the North / Yu.R. Dordin, L.I. Argunov, O.O. Filippov. – Yakutsk: Danil Almas Company, 2010. – 160 p.
2. Kobylin V.P. Improving the operational reliability of the power grid in the North. – Novosibirsk: Science, 2006. – 223 p.
3. Kobylin V.P. Prospects for the development of the electric power industry of the Republic of Sakha (Yakutia) and the East of Russia: a collection of scientific articles / V.P. Kobylin, V.A. Sedalishchev, R.P. Li-Fir-Su, A.V. Kobylin // 13 scientific and technical. conf. Energy: ecology, reliability, safety. – Tomsk, 2008. – P. 38-41.

Хоютанов Александр Михайлович – научный сотрудник, a.m.khoiutanov@mail.ru	Khoiutanov Aleksandr Mikhailovich – researcher, a.m.khoiutanov@mail.ru
Васильев Павел Филиппович – кандидат технических наук, заведующий отделом, kb-8@mail.ru	Vasilyev Pavel Filippovich – candidate of technical sciences, head of department, kb-8@mail.ru
Давыдов Геннадий Иванович – научный сотрудник, dav_gen@mail.ru	Davydov Gennady Ivanovich – researcher, dav_gen@mail.ru
Институт физико-технических проблем Севера СО РАН, Якутск, Россия	Institute of Physical and Technical Problems of the North SB RAS, Yakutsk, Russia

Received 20.12.2021