

УДК 621.311

ОСОБЕННОСТИ СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Дюкин И.Р., аспирант¹

E-mail: lester0125@yandex.ru

Братухин А.В., старший преподаватель²

E-mail: usr02334@vyatsu.ru

Сидоров А.И., доктор технических наук, профессор¹

E-mail: sidorovai@susu.ru

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Вятский государственный агротехнологический университет»,
г. Киров, Россия

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Вятский государственный университет», г. Киров, Россия

Аннотация. Характерной особенностью сельских электрических сетей 6-35 кВ является распространенность воздушных линий электропередачи с изолированной нейтралью для электроснабжения потребителей. Слабая изоляция этих сетей приводит к высокой аварийности и риску электротравматизма. Наиболее подверженными повреждениям элементами электрической сети 6-35 кВ являются воздушные линии, которые становятся причиной 80% общего числа аварий. Разветвленная структура воздушных линий, их значительная протяженность, а также расположение в труднодоступных местах существенно усложняют процесс поиска места повреждения.

Ключевые слова: сельские электрические сети, изолированная нейтраль, повреждаемость, электротравматизм, замыкание на землю.

FEATURES OF RURAL ELECTRICITY NETWORKS

Dyukin I.R., postgraduate student¹

E-mail: lester0125@yandex.ru

Bratukhin A.V., senior lecturer²

E-mail: usr02334@vyatsu.ru

Sidorov A.I., doctor of technical sciences, professor¹

E-mail: sidorovai@susu.ru

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Vyatka State Agrotechnological University», Kirov, Russia

²Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Vyatka State University», Kirov, Russia



Annotation. A characteristic feature of the 6-35 kV rural electricity networks is the prevalence of overhead power transmission lines with insulated neutral for power supply to consumers. Weak isolation of these networks leads to high accident rate and risk of electrical injuries. The most susceptible to damage elements of the 6-35 kV electrical network are overhead lines, which cause 80% of the total number of accidents. The branched structure of overhead lines, their considerable length, as well as their location in hard-to-reach places significantly complicate the process of finding a damage place.

Keywords: rural electricity networks, insulated neutral, damage, electrical injury, ground fault.

Единая энергосистема России включает в себя более 2,5 млн км линий электропередачи всех классов напряжений. При этом 95% протяженности распределительных сетей выполнено воздушными линиями (ВЛ). Наиболее распространенными во всех энергосистемах страны являются ВЛ напряжением 6-35 кВ, получившие широкое распространение в сельской местности. Такие линии имеют сложную древовидную структуру и значительную протяженность. Совокупная длина таких сетей составляет примерно 50% от общей протяженности линий электропередачи всех классов напряжений, причем длина ВЛ 10 кВ в этой группе составляет более 81% [1].

Соотношение протяженностей ВЛ различного напряжения в России представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Соотношение протяженностей ВЛ различного напряжения в РФ

Номинальное напряжение, кВ	Протяженность, км
0,4	803 200
6-35	1 272 089
110	294 786
220	100 672
330	9 300
500 кВ и выше	42 000
Итого	2 522 047



Основными потребителями систем передачи и распределения электрической энергии напряжением 6-35 кВ являются объекты сельского хозяйства. От одной линии электропередачи с помощью ответвлений питаются, как правило, несколько самостоятельных потребителей. Кроме того, сети этого класса напряжения имеют относительно слабую изоляцию, что обуславливает высокую аварийность и травматизм персонала [1]. В электрических сетях Кировской области, по данным филиала ПАО «Россети Центр и Приволжье» – «Кировэнерго», в год происходит в среднем 3 000 аварийных отключений ВЛ 6-35 кВ. Поэтому актуальной является задача повышения безопасности работ в этих сетях.

Количество отключений ВЛ 6-35 кВ на территории Кировской области за 2020-2022 гг. приведены в таблице 2 и на рисунке 1.

Таблица 2 – Количество отключений ВЛ 6-35 кВ в Кировэнерго

Год	Количество отключений
2020	2275
2021	3086
2022	3424

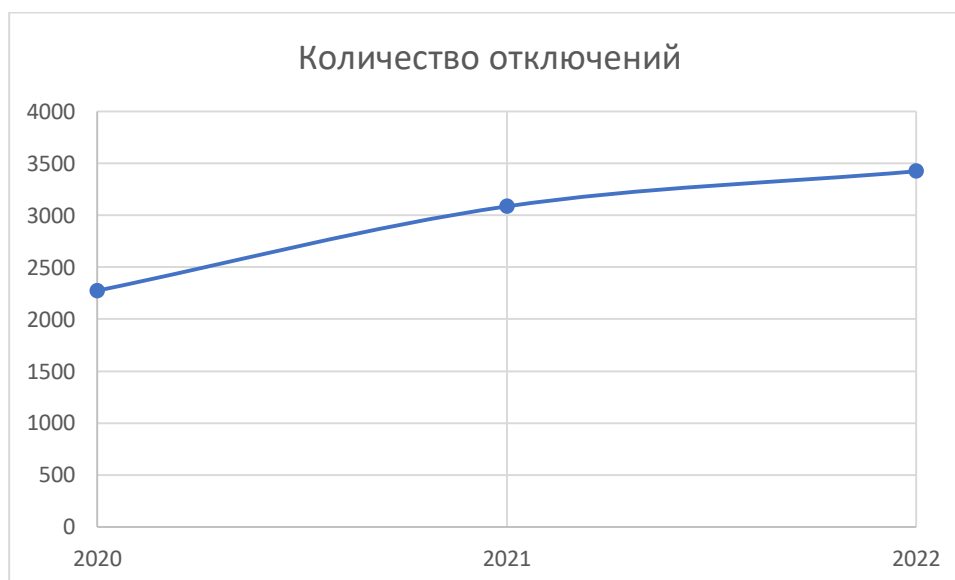


Рисунок 1 – Количество отключений ВЛ 6-35 кВ в Кировэнерго



Как видно из рисунка 1, сохраняется неблагоприятная тенденция увеличения количества аварийных отключений, происходящих из-за повреждений данных линий.

В сетях 6-35 кВ в мире используются четыре возможных варианта заземления нейтрали: изолированная, заземленная через дугогасящий реактор (ДГР), заземленная через резистор, глухозаземленная.

Режим заземления нейтрали определяет безопасность персонала при однофазных замыканиях на землю (ОЗЗ), ток в месте повреждения и перенапряжения на исправных фазах при ОЗЗ, а также бесперебойность электроснабжения.

Таблица 3 – Способы заземления нейтрали в странах мира

Страна	Номинальное напряжение, кВ	Способ заземления нейтрали			
		Изолированная	Через ДГР	Через резистор	Глухое
Россия	6-35	+	+		
Австралия	11-12			+	+
Канада	4-25			+	+
США	4-25			+	+
Испания	10-30			+	+
Италия	10-20	+			
Португалия	10-30			+	
Франция	12-24			+	
Япония	6,6	+		+	
Германия	10-20		+		
Австрия	10-30		+		
Бельгия	6,3-17			+	
Великобритания	11			+	+
Швейцария	10-20		+		
Финляндия	20	+	+		
Израиль	22		+		

Режим изолированной нейтрали используется в России достаточно давно и более 80% (в «Кировэнерго» 100%) сетей 6-35 кВ работает именно в таком режиме. В «Кировэнерго» при этом многолетний опыт эксплуатации сетей с изолированной нейтралью, накопленный не только в России, но и во всем мире,



позволяет говорить о существенных недостатках режима изолированной нейтрали в сетях 6-35 кВ, – искажение симметричной системы фазных напряжений, вследствие чего на исправных фазах возникают перенапряжения. Вокруг места замыкания существует так называемое шаговое напряжение, обусловленные током стекания в землю, происходит недоотпуск электроэнергии и перерывы в электроснабжении потребителей [5].

Традиционно как в России, так и за рубежом для ограничения емкостных токов используются ДГР. При использовании режима компенсированной нейтрали ДГР подключается в нейтральную точку сети. При этом ток ОЗЗ может быть скомпенсирован полностью или частично в зависимости от качества настройки и типа ДГР. Заземление нейтрали через реактивное сопротивление в США обычно используется в случаях, когда требуется ограничить ток замыкания на землю до величины, близкой к амплитуде тока трехфазного короткого замыкания. Заземление нейтрали через ДГР часто используется в распределительных сетях Великобритании, Германии, Австрии и других европейских стран [6]. Заземление нейтрали через реактивное сопротивление используется в некоторых случаях в Португальской Распределительной Сети напряжением 63 кВ.

Компенсация емкостных токов с помощью ДГР осуществляется в сетях среднего напряжения Испании (10-30 кВ), Франции (12-24 кВ), Италии (10-20 кВ), Германии (10-20 кВ), Австрии (10-30 кВ), Швейцарии (10-20 кВ), Финляндии (20 кВ), Швеции, Норвегии, Чехии и Словакии [7].

Кроме указанных режимов заземления нейтрали, в мире применяется также комбинация (параллельное включение) дугогасящего реактора и резистора. Например, такая комбинация встречается в воздушных сетях 20 кВ Германии [6].

В настоящее время в России работа электрических сетей напряжением 6-35 кВ может предусматриваться как с изолированной нейтралью, так и с



нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор или резистор. ПУЭ [3] обязывает компенсировать часть емкостного тока ОЗЗ при значениях этого тока в нормальных режимах:

1. в сетях напряжением 3-20 кВ, имеющих железобетонные и металлические опоры на ВЛ, и во всех сетях напряжением 35 кВ – более 10 А;
2. в сетях, не имеющих железобетонных и металлических опор на ВЛ:
 - более 30 А при напряжении 3-6 кВ;
 - более 20 А при напряжении 10 кВ;
 - более 15 А при напряжении 15-20 кВ.

Следует отметить, что в РФ задача компенсации емкостных токов не является актуальной. К примеру, в электрических сетях 6-35 кВ Кировской области токи ОЗЗ составляют менее 10 А, поэтому компенсация токов ОЗЗ не проводится и в сети отсутствуют ДГР, что свидетельствует о режиме работы с изолированной нейтралью.

Режим глухозаземленной нейтрали в сетях 6-35 кВ в РФ не практикуется.

Основным видом повреждений ВЛ 6-35 кВ являются ОЗЗ, составляющие до 80% от всех повреждений [1].

Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации (ПТЭ) [4] допускают работу сетей с изолированной нейтралью с ОЗЗ до устранения повреждения. Но при этом обязывают ликвидировать повреждение в кратчайший срок. Выявление места ОЗЗ в распределительных сетях напряжением 6-35 кВ выполняется топографическим методом, то есть путём обхода и визуального осмотра всей трассы поиска. ПТЭ обязывает использовать для этой цели переносные приборы, которые делятся на две группы: токовые и направленные [1, 2].

Токовые приборы позволяют сравнить токи нулевой последовательности для разных участков сети при ОЗЗ. По максимальным показаниям токового



прибора определяется как поврежденная линия, отходящая от питающей подстанции, так и поврежденное ответвление на этой линии и участок с повреждением, за которым показания прибора резко уменьшаются.

Направленные приборы позволяют по показаниям индикатора определить направление к месту повреждения в любой точке сети. Принцип действия направленных приборов основан на сопоставлении фаз напряжения и тока гармонических составляющих преобразованных датчиками сигналов.

Все промышленно выпускаемые в РФ приборы – токовые. Они имеют ряд существенных недостатков: поиск необходимо начинать с питающей подстанции; необходимо знать показания прибора под определенными точками линии в нормальном режиме; анализируются только определенные гармонические составляющие; из-за непостоянства содержания высших гармоник в процессе поиска определить место ОЗЗ удается не всегда; невозможно определить место ОЗЗ при сложных видах повреждений, таких как ОЗЗ с обрывом провода, ОЗЗ при падении дерева на провод.

Из-за описанных выше недостатков современных переносных приборов бригады ремонтно-технического обслуживания при поиске места ОЗЗ ими фактически не пользуются.

При поиске места ОЗЗ специалисты ориентируются на признаки протекания тока замыкания на землю: прикосновение провода к телу опоры, испарение влаги из почвы, возникновение электрической дуги на стойках и в местах заделки опоры в грунт, упавшие деревья, звуки горящих разрядов, звонки от потребителей и т. д. Но возможны варианты, когда внешние признаки отсутствуют, например повреждение изоляторов, что особенно усложняет определение зоны замыкания. Поиск места ОЗЗ затягивается, а обслуживающий ВЛ персонал в ходе поиска места замыкания подвергается опасности поражения электрическим током в зоне ОЗЗ.



Выводы. 1. Материалы данного исследования показывают, что сети 6-35 кВ в РФ в основном выполняются с изолированной нейтралью и являются наиболее протяженными и разветвленными. Основным видом повреждений ВЛ 6-35 кВ являются ОЗЗ, составляющие до 80% от всех повреждений.

2. Вблизи места ОЗЗ появляется опасное для людей и животных шаговое напряжение. Увеличение напряжения на неповрежденных фазах относительно земли представляет опасность для изоляции сети. Растет вероятность перехода ОЗЗ в двухфазные и трехфазные замыкания. Разветвленная структура ВЛ, значительная протяженность, а также расположение в труднодоступной местности значительно осложняют поиск места повреждения.

3. В случае отсутствия средств для своевременного обнаружения и устранения ОЗЗ возможны электротравмы, повреждения оборудования и другие аварийные ситуации. Поиск и устранение ОЗЗ без специализированного оборудования может быть крайне трудоемким и длительным процессом. Приборы для обнаружения замыканий повышают эффективность обслуживания электросетей, сокращая время, необходимое для локализации и устранения режима ОЗЗ. Поэтому актуальной становится задача по созданию нового типа переносного устройства, позволяющего не только найти место ОЗЗ, но и предупредить обслуживающий персонал о приближении к опасной зоне.

Список источников.

1. Красных А. А. Электрозащитные средства и устройства контроля для воздушных линий электропередачи. Киров : [б. и.], 2004. 236 с.
2. Красных А. А., Кривошеин И. Л., Козлов А. Л. Переносные приборы для определения места однофазного замыкания на землю // Энергетик. 2015. № 11. С. 18–20.
3. Правила устройства электроустановок / Главгосэнергонадзор России. 7-е изд. М. : Изд-во ЗАО «Энергосервис», 2007. 610 с.



4. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. с измен. М. : Дизайн ПРО, 2008. 648 с.
5. Серов В. И., Шуцкий В. И., Ягудаев Б. М. Методы и средства борьбы с замыканиями на землю в высоковольтных системах горных предприятий. М. : Наука, 1985. 135 с.
6. Титенков С. С., Пугачев А. А. Режимы заземления нейтрали в сетях 6-35 кВ и организация релейной защиты от однофазных замыканий на землю. Энергоэксперт. 2010. № 2. С. 18–21.
7. Телегин А. В., Ширковец А. И. Проблематика замыканий на землю и режим заземления нейтрали в сетях среднего напряжения стран Европы и Америки. Релейная защита и автоматизация 2012. № 3 (сентябрь). С. 32–41.

