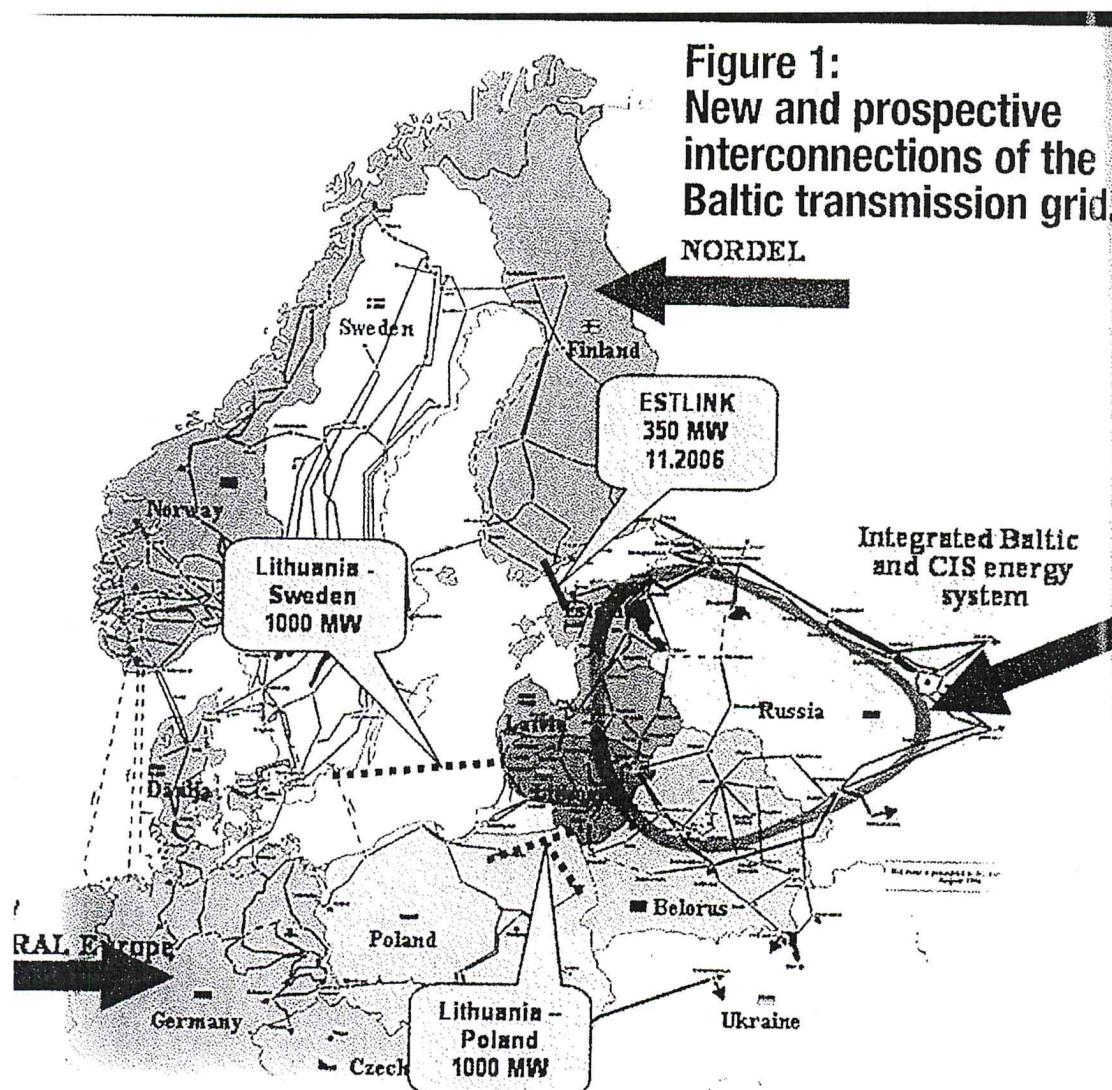


Линейные изоляторы в Литве: опыт эксплуатации и планы на будущее

I пример:
Новые и будущие соединения сетей Балтии



Находящаяся в северной части Европы Литва является крупнейшей из стран Балтии. В ней преобладает морской климат с большими колебаниями температур: зимой холод может достигать -35°C , а летом воздух прогревается до $+30^{\circ}\text{C}$. Из-за растущей потребности в электроэнергии, а также из-за стареющей инфраструктуры сетей основному оператору передающей сети страны „Lietuvos energija“ приходится принимать важные решения насчет новых линий и как можно лучшего их обеспечения изоляционным оборудованием. В этой статье, подготовленной заведующим отделом Департамента сети Видмантасом Грушасом, рассматривается исторический опыт эксплуатации с

использованием изоляторов на воздушных линиях электросети Литвы и факторы, от которых зависят будущие решения, связанные с этими компонентами.

Введение

„Lietuvos energija“ – основная компания электрического сектора Литвы, выполняющая функции владельца, оператора системы и оператора рынка передающей сети электроэнергии страны (110 и 330 кВ):

- осуществляет надзор и развивает передающую систему страны;
- обеспечивает баланс производства и использования электроэнергии, передачу электроэнергии с электростанций Литвы в различные компании распределительных сетей;
- координирует работу электростанций Литвы, чтобы была обеспечена надежная поставка электроэнергии потребителям и, совместно с соседними энергетическими системами, осуществляет экспорт, импорт и транзит электроэнергии.

„Lietuvos energija“ также является составной частью параллельно действующих электросистем стран Балтии, России и Белоруссии, управляющей потоками важнейшей, необходимой для хозяйства и быта энергии. Основное назначение – надежная и эффективная передача энергии и стабильность энергетической системы.

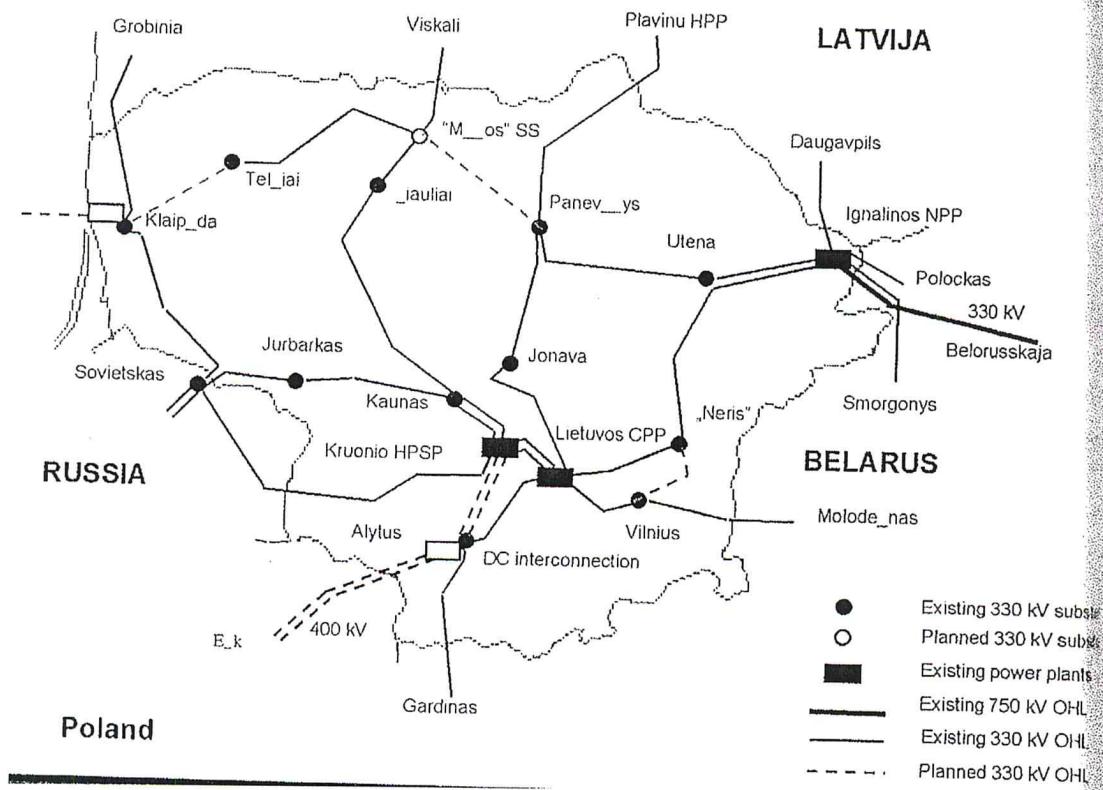
Компания владеет принадлежащей ей передающей сетью, которую составляют 4970 километров линий 110 кВ с 229 подстанциями и 1670 километров линий 330 кВ с 12 подстанциями. Эта управляемая компанией передающая система четырьмя электролиниями 330 кВ соединена с энергосистемами Латвии, пятью – Белоруссии и тремя - России. Одна из важнейших целей предприятия электроэнергии – интегрировать энергетическую систему Литвы в рынок электричества Западной Европы, а также развивать соответствующее региональное сотрудничество.

Соединение с энергетическими системами соседних стран

A. Эстония – Финляндия („Estlink“)

4 декабря 2006 г. состоялась торжественная презентация двух подводных кабелей 150 кВ постоянного тока длиной 105 км, соединяющих Эстонию и Финляндию. Торговля электроэнергией по этим кабелям мощностью 350 МВт началась 4 января 2007 г. „Lietuvos energija“ является акционером этого проекта.

FIGURE 2: FUTURE TRANSMISSION NETWORK DEVELOPMENT IN LITHUANIA.



2 пример: РАЗВИТИЕ ПЕРЕДАЮЩЕЙ СЕТИ ЛИТВЫ В БУДУЩЕМ

Нынешние подстанции 330 кВ

Планируемые подстанции 330 кВ

Ныне действующие электростанции

Ныне имеющиеся воздушные линии 750 кВ

Ныне имеющиеся воздушные линии 330 кВ

Планируемые воздушные линии 330 кВ

В. Польша – Литва

Продолжать развивать передающую сеть Литвы планируется путем ее соединения с энергетической системой Польши. Этот проект соединения является особенно важным в развитии интегрированной электросети Европы и увеличении надежности поставок. Соединение станет воротами рынка электричества Балтии на рынки Европейского Союза. ЕС это литовско-польское соединение энергии объявил приоритетным проектом, на осуществление которого может быть выделена финансовая поддержка. Это соединение, которое составляет двухзвенная линия 400 кВ мощностью 1000 МВт с крестообразно соединенным преобразователем, всего будет стоить примерно 430 млн. евро.

С. Швеция – Литва (Swindlit)

Учреждение Общего балтийского рынка электроэнергии с использованием общих мощностей энергетических систем стран Балтии намечается как необходимая предпосылка для того, чтобы страны Балтии могли успешно интегрироваться в рынки электроэнергии стран Западной Европы и северных стран. Шведские компании SEK, „SwedPower” и „Airicole” предложили участвовать с новом

проекте, соединяющем парк морских ветроэлектростанций с сетями Швеции и Литвы. Завершена подготовка предварительного экономического обоснования и подготовлена совместная заявка на получение финансирования ЕС. Мощность этого соединения будет примерно 700 МВт, и намечаемые издержки на проект (линии и крестообразно соединенный преобразователь, за исключением парка ветроэлектростанций) достигнут примерно 400 млн. евро.

Статистические исследования показывают, что ежегодно наибольшее количество сбоев в воздушных линиях передающей сети Литвы происходит из-за изоляторов.

Стареющая передающая система

Ежегодно в передающую сеть Литвы обычно инвестируется примерно по 40 млн. евро. Однако на ближайшие 20 лет этой суммы будет недостаточно, поскольку основное развитие этой сети осуществлялось в восьмидесятые годы прошлого века. Уже в ближайшие несколько лет закончится расчетный срок эксплуатации примерно 70% компонентов сети и оборудования (см. Таблицу 1). В настоящее время ежегодно обновляется или реконструируется по одной подстанции 330 кВ и примерно по семь или восемь подстанций 110 кВ.

Table 1: AGE OF EXISTING TRANSMISSION NETWORK EQUIPMENT					
Overhead Lines					
Voltage (kV)	Length (km)	Number (units)	Age (years)		
			0-20	20-40	40-60
330	1670	30	20% (6)	53% (16)	27% (8)
110	4970	339	13% (45)	61% (207)	26% (87)
Cable Lines					
Voltage (kV)	Length (km)	Number (units)	Age (years)		
			0-20	20-40	40-60
110	21	10	100% (21)	—	—
Substations					
Voltage (kV)	Number (units)		Age (years)		
			0-20	20-40	40-60
330	13		33% (4)	59% (8)	8% (1)
110	221		18% (38)	68% (144)	14% (29)

Таблица 1. ВОЗРАСТ ОБОРУДОВАНИЯ НЫНЕШНЕЙ ПЕРЕДАЮЩЕЙ СЕТИ

Воздушные линии

Напряжение (кВ)	Длина (км)	Колич. (шт.)		Возраст (лет)	
			0-20	20-40	40-60
330	1670	30	20% (6)	53% (16)	27% (8)
110	4970	339	13% (45)	61% (207)	26% (87)

Кабельные линии

Напряжение (кВ)	Длина (км)	Колич. (шт.)		Возраст (лет)	
			0-20	20-40	40-60
110	21	10	100% (21)	-	-

Подстанции

Напряжение (кВ)	Колич. (шт.)		Возраст (лет)	
		0-20	20-40	40-60
330	13	33% (4)	59% (8)	8% (1)
110	221	18% (38)	68% (144)	14% (29)

Развитие передающей сети (2007 – 2016 годы)

За следующие 10 лет планируется проложить три новые воздушные линии 330 кВ (Клайпеда-Тельшяй, Муша-Паневежис и Вильнюс-Нерис), а также построить новую подстанцию 330 кВ. Кроме того, планируется проложить три новые линии 110 кВ, шесть новых кабелей и 14 подстанций. Пять из них соединяют ветроэлектростанции с передающей сетью страны.

Повреждения воздушных передающих линий

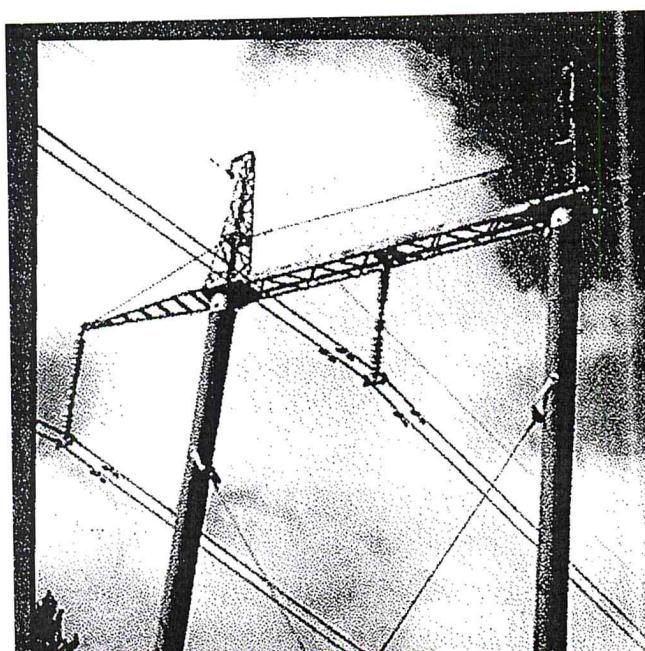


Figure 3: Example of vandalism on Lithuanian power network.

3 пример: Примеры вандализма в электросети Литвы

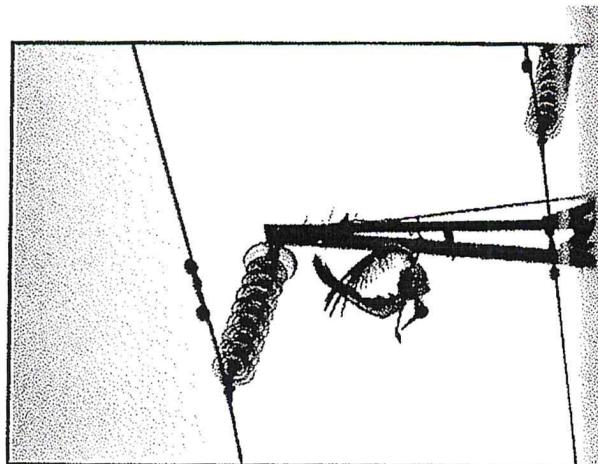


Figure 4: Example of bird-triggered ou

4 пример: Пример нарушения поставки электроэнергии, произошедшего из-за птицы

Изоляция является одним из важнейших элементов, оказывающих влияние на общую надежность системы, и она выполняет важную роль во всех соединительных, передающих и внутренних передающих линиях во всей Литве. Поэтому исторический опыт эксплуатации с использованием различных изоляторов считается ценным при принятии решений в будущем.

Статистические исследования показывают, что ежегодно наибольшее количество сбоев в воздушных линиях как 110 кВ, так и 330 кВ передающей сети Литвы происходит из-за искрения изоляторов (см. Таблицу 2).

Table 2: Failures on 110 kV & 330 kV Overhead Lines in Lithuania

Таблица 2. Неисправности в воздушных линиях Литвы 110 кВ и 330 кВ

Год	2001	2002	2003	2004	2005	2006	В среднем в год
Опоры	-	4	3	11	5	4	4.5
Провода	8	7	7	11	11	8	8.7
Изоляторы	Искрение	19	22	14	47	23	24.5
	Механические повреждения	0	1	0	2	2	1
	Другое	1	2	0	1	0	0.66

Считается, что такое искрение появляется из-за поверхностных повреждений, когда из-за больших перепадов дневных иочных температур по утрам начинает скапливаться роса. Это явление особенно часто в период переходного сезона. Было установлено, что искрение особенно часто происходит тогда, когда во время затянувшегося периода засухи скапливается пыль и ранним утром долго не рассеивается туман.

Визуальный осмотр и анализ искрения выявляют основные причины таких повреждений (см. Таблицу 3).

Table 3: Analysis of Flashovers (2001 to 2006)

Reason for Flashover	Successful Re-closure	Unsuccessful Re-closure	Successful & Unsuccessful Re-closure
Fire	1	—	1
Surface tracking	170	15	185
Environmental impact	6	21	27
Trees	9	29	38
Birds	71	4	75
Construction	3	—	3
Montage	1	3	4
Ageing	2	1	3
Vandalism	27	31	58
Design	—	2	2
Total	290	106	396

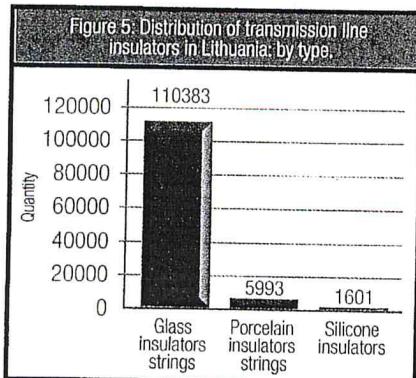
Таблица 3. Анализ искрения (2001 – 2006 гг.)

Причина искрения	Успешное повторное включение	Неудачное повторное включение	Успешное и неудачное повторное включение
Пожар	1	-	1
Поверхностное повреждение	170	15	185
Воздействие на окружающую среду	6	21	27
Деревья	9	29	38
Птицы	71	4	75
Здания	3	-	3
Монтаж	1	3	4
Старение	2	1	3
Вандализм	27	31	58
Проектирование	-	2	2
Всего:	290	106	396

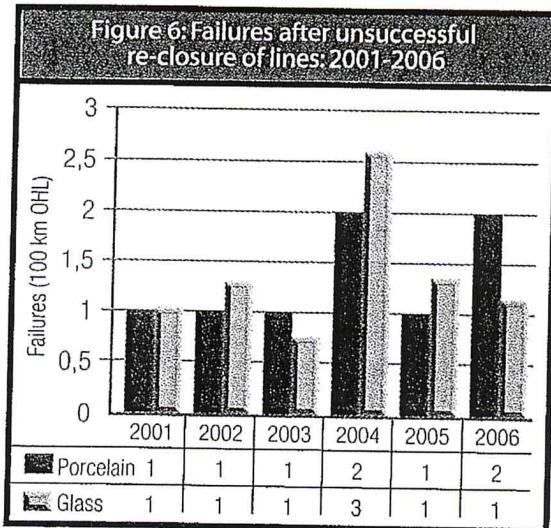
Примерно 50% прерываний поставки электроэнергии, произошедших из-за погоды и климата, были связаны с изоляторами (фарфоровыми и стеклянными).

Уровень надежности стеклянных и фарфоровых изоляторов и количество их эксплуатационных повреждений в передающих линиях Литвы похож, а неисправностей силиконовых изоляторов до сих пор не было зафиксировано.

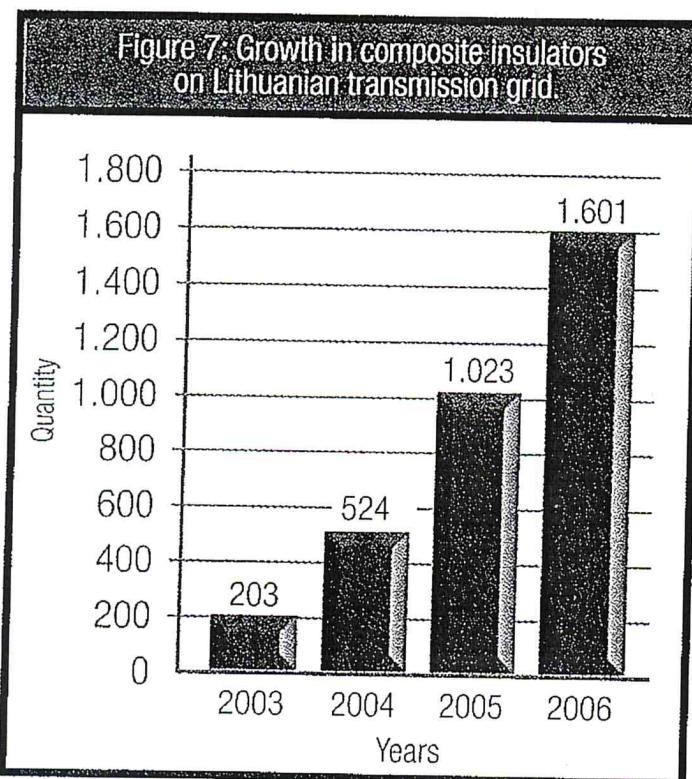
Меры по предупреждению неисправностей



5 пример: Распределение изоляторов передающих линий в Литве по типу



6 пример: Неисправности после неудачного повторного включения линии: 2001-2006



7 пример: Увеличение количества композитных изоляторов в передающей сети Литвы

Хотя в большей части воздушных линий Литвы все еще используются фарфоровые и стеклянные изоляторы, за последние пять лет отмечается большая

заинтересованность композитными изоляторами, как средством, помогающим избежать искрения (7 пример изображен с тенденцией роста). В настоящее время силиконовые изоляторы главным образом используются в западных приморских районах страны.

Опыт эксплуатации в большинстве стран мира показывает, что установка силиконовых композитных изоляторов является одним из наиболее эффективных способов, помогающих решить проблемы искрения и технического надзора в воздушных линиях. За последние пять лет „Lietuvos energija“ оценила свойства таких изоляторов, используемых в ее линиях 110 кВ, к самоочищению. Это исследование до сих подтвердило такие преимущества.

Поэтому предприятие поддерживает более широкое использование композитных, т.е. изготовленных из соответствующих сортов силиконовой резины, изоляторов для того, чтобы воздушные линии, проложенные в загрязненной среде, были хорошо изолированы. Изоляторы этого типа не много весят, поэтому они также все чаще используются и в незагрязненных или мало загрязненных местах с целью уменьшить издержки на доставку и установку.

Основными факторами, обуславливающими выбор изоляторов, являются следующие:

- уровень загрязненности среды;
- климатические условия;
- номинальное напряжение;
- расстояние проводов от земли;
- нагрузка изоляторов.

Поэтому в спецификации изоляторов компании „Lietuvos energija“ представляется много основных параметров передающей сети и данных условий окружающей среды (таблица 4).

Table 4: Main Parameters of Glass & Silicone Insulators

No.	Requirements	Glass Insulators	Silicone Insulators
1.	Equipment manufacturers must be certified by ISO and present the copy	ISO 9001	ISO 9001
2.	Standard	IEC	IEC
3.	Ambient conditions	-35 - +50° C	-35 - +50° C
4.	Electric withstand to pollution according to IEC 60815 for medium level	2	2
5.	Maximal continuous voltage of network	123 kV	123 kV
6.	Neutral of network	Earthed	Earthed
7.	Rated frequency	50 Hz	50 Hz
8.	Lightning impulse withstand voltage	100 kV	550kV
9.	Withstand voltage in rain (50 Hz, 1 min.)	40 kV	230kV
10.	Specified breaking mechanical load	≥ 70/120 kN	≥80/120 kN
11.	Creepage distance	≥ 303 mm	≥ 3870 mm
12.	Diameter of shell	≥ 255 mm	-
13.	Spacing	127/146 mm	1340 mm
14.	Couplings according to IEC 60120	16 A	16 A
15.	Contamination level	II	II

Таблица 4: Основные параметры стеклянных и силиконовых изоляторов

Пор. №	Требования	Стеклянные изоляторы	Силиконовые изоляторы
1.	Производители оборудования должны иметь сертификат ISO и представить его копию	ISO 9001	ISO 9001
2.	Стандарт	IEC	IEC
3.	Условия окружающей среды	-35 - +50° C	-35 - +50° C
4.	Сопротивляемость электрических частей загрязнению среднего уровня по IEC 60815	2	2
5.	Наибольшее постоянное напряжение сети	123 кВ	123 кВ
6.	Нейтраль сети	Заземлена	Заземлена
7.	Номинальная частота	50 Гц	50 Гц
8.	Импульсное выдерживаемое напряжение молнии	100 кВ	550 кВ
9.	Выдерживаемое напряжение под дождем (50 Гц, 1 мин.)	40 кВ	230 кВ
10.	Указанная нагрузка механического разрыва	> 70/120 кН	> 80/120 кН
11.	Путь поверхностной утечки	>303 мм	>3870 мм
12.	Диаметр кромки	>255 мм	-
13.	Расстояние между изоляторами	127/146 мм	1340 мм
14.	Муфты по IEC 60120	16 А	16 А

Кроме этих спецификаций, выбор изоляторов, используемых в передающей сети Литвы, обуславливают эти стандарты:

1. Правила оборудования электроустановок (Литва, 2001);
2. IEC 60071, Выбор изоляции
3. IEC 60815, Руководство по выбору изоляции для использования в загрязненной среде;
4. IEC 61109, Композитные изоляторы воздушных линий номинального переменного напряжения выше 1 000 В. Определения, методы испытаний и критерии приемки;
5. IEC 61466, Гибридные композитные изоляторы воздушных линий номинального напряжения выше 1 000 В. 1 и 2 части. Стандартные классы прочности и части крепления оконечностей;
6. IEC 61462/TR2 Составные изоляторы. Пустотельные изоляторы, используемые во внешнем и внутреннем электрооборудовании. Определения, методы испытаний, критерии приемки и рекомендации по проектированию;
7. IEC 61952, Изоляторы воздушных линий. Составные опорные изоляторы номинальным напряжением выше 1000 В;
8. IEC 62217, Полимерные изоляторы номинальным напряжением выше 1000 В, используемые внутри и снаружи помещений. Общие определения, методы испытаний и критерии приемки;
9. IEC 62231, Композитные опорные изоляторы, используемые на подстанциях переменного напряжения выше 1000 В и не более 245 кВ. Определения, методы испытаний и критерии приемки.

Опыт технического надзора и эксплуатации

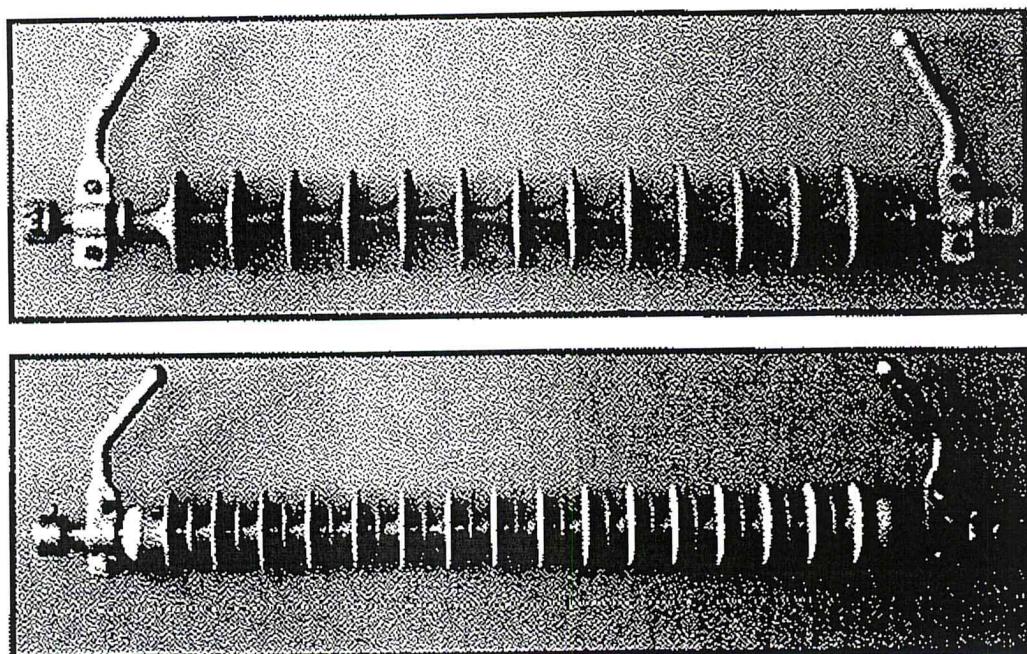


Figure 10: Examples of silicone insulators used in Lithuania.

10 пример: Примеры использования силиконовых изоляторов в Литве.

В передающей сети Литвы применяются различные процедуры наблюдения за состоянием и старением изоляторов, исходя из типа изолятора:

- а. В случае фарфоровых дисков, для измерения напряжения каждого находящегося в гирлянде диска используется вольтметр высокого напряжения линии под напряжением. Составляется профиль напряжения и устанавливается количество электрически исправных фарфоровых дисков.
- б. В случае стеклянных дисков, если кромка не повреждена, диск считается механически и электрически исправным, поэтому визуальный осмотр является основным способом оценки стеклянных изоляторов;
- в. Визуальный осмотр является основным способом оценки также и в случае силиконовых изоляторов.

Термография инфракрасными лучами используется с целью обнаружить горячие точки изолятора, которые могут показать, что изолятор греется из-за слишком большого тока утечки. Камеры „Corona“ еще не используются.

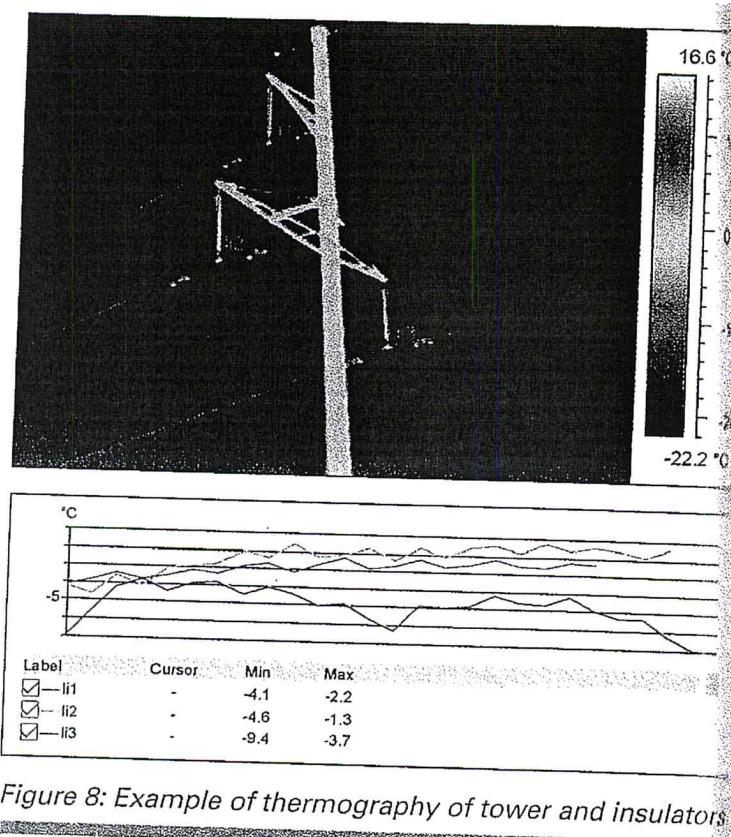


Figure 8: Example of thermography of tower and insulators

8 пример: Пример термографии опор и изоляторов.

Все изоляторы, используемые в передающей сети Литвы, раз в год визуально осматриваются с земли. Кроме того, изоляторы всех типов, столбы и провода каждые шесть лет проверяются с отключением линий.

Основываясь на накопленном до сих пор опыте, можно утверждать, что использование изоляторов из силиконовой резины в воздушных линиях Литвы 110 кВ обеспечивает два основных преимущества:

- Большую надежность сети;
- Экономится немало средств при приобретении новых изоляторов, выполнении технического надзора за ними и прокладке новых линий.

Поэтому всем электрическим предприятиям Литвы, стремящимся обеспечить еще большее качество поставки электроэнергии, не терпится испытать новые методы.

При замене изоляторов линия обычно отключается. Передающая сеть Литвы хорошо развита, поэтому этот способ можно выбирать.

Реальные эксплуатационные издержки изоляторов (англ. life cycle cost (LCC)) по существу образуют три составные части:

- цена приобретения;
- издержки на технический надзор;
- фактические издержки от неисправности.

В таблице 5 представлена рассчитанная величина издержек на фарфоровые, стеклянные и силиконовые изоляторы (в долларах США) на линии 110 кВ длиной 100 км (когда срок эксплуатации изоляторов – 40 лет).

Table 5: Life Cycle Cost of Different Insulators for 100 km of 110 kV Lines in Lithuania			
Cost in USD	Porcelain	Glass	Silicone
Purchasing	311,538	311,538	342,308
Maintenance	1,489,231	104,615	104,615
Failure	931	507	0
Total:	1,801,700	416,660	446,923

Таблица 5. Эксплуатационные издержки различных изоляторов в литовских линиях 110 кВ (на каждые 100 км)

Издержки в долларах США	Фарфор	Стекло	Силикон
Приобретение	311,538	311,538	342,308
Надзор	1,489,231	104,615	104,615
Неисправности	931	507	0
Всего:	1,801,700	416,660	446,923

Данные, представленные в таблице 5, показывают, что издержки на эксплуатацию силиконовых изоляторов меньше, чем фарфоровых, однако почти не отличаются от издержек на эксплуатацию стеклянных изоляторов. Однако все равно силиконовые изоляторы являются самым подходящим выбором, поскольку они также помогают решать различные проблемы искрения и другие проблемы надзора.

Исходя из результатов этого исследования, оператор передающей сети Литвы заказал проведение нового исследования для того, чтобы получить больше информации о применении силиконовых изоляторов также на линиях 330 кВ.

Выводы

1. В передающей сети Литвы 110 кВ с началом использования силиконовых резиновых изоляторов удалось значительно уменьшить случаи искрения, а также уменьшить издержки на технический надзор по сравнению с фарфоровыми изоляторами.
2. Стеклянные изоляторы намечено заменять на изоляторы из силиконовой резины только на тех линиях, где возникают проблемы.
3. По плану развития передающей сети Литвы на ближайший период намечено проложить несколько новых линий 330 кВ и 110 кВ, поэтому все важнее подобрать изоляторы подходящего типа.
4. В новых линиях 110 кВ намечено монтировать композитные изоляторы из-за того, что они легче, компактнее и особо надежны.
5. Передающая сеть Литвы только что начала исследовать использование композитных изоляторов в линиях 330 кВ.
6. Надежные методы оценки состояния эксплуатируемых силиконовых изоляторов и безопасный монтаж таких изоляторов в оборудовании под напряжением для компании „Lietuvos energija“ становятся все более важными факторами. [x]