

ИЗОЛАЦИЯ ПО ЕЛЕКТРОПРОВОДИТЕ. ВИДОВЕ ИЗОЛАТОРИ, ПРЕДИМСТВА , НЕДОСТАТЪЦИ, ПРИЛОЖЕНИЕ. ПРОЕКТИРАНЕ. ЗАГУБИ НА ЕНЕРГИЯ.

инж. Иван Ханджиев

ТУ Варна, катедра Електроенергетика

Резюме: Изолационният материал трябва да има високо съпротивление и висока диелектрична якост. Допълнителните желани свойства на изолационния материал зависят от вида на приложението. Изолационният материал, използван за производството на изолирани кабели / проводници, трябва да бъде гъвкав като каучук или PVC. От друга страна, изолаторът, използван за поддържане на въздушни електропроводи, трябва да бъде механично здрав, като порцеланови или стъклени изолатори.

Тока на утечката по повърхността на изолаторите се явяват една от съставлящите на технологичните загуби на електроенергия.

Разчетите показват, че в мрежите за високо напрежение, загубата на енергия при замърсените стъклени и порцеланови изолатори, поради големия ток на утечката е от порядъка на 300 kWh/год на един стъклен изолатор тип ПС120, което в паричен еквивалент е от порядъка на 25 € за една година.

Загубите на енергия в силиконовите изолатори е почти **40 ÷ 50 пъти по-ниски**.

Икономия на енергия при използването на композитни силиконови изолатори се постига за сметка на малките токове на утечка по повърхността на хидрофобната замърсена и мокра повърхност на изолатора.

Ключови думи: Изолация, Ток на утечка, Загуби на електроенергия

INSULATION ON OVERHEAD LINES. TYPES OF INSULATORS, ADVANTAGES, DISADVANTAGES, APPLICATION. DESIGN. ENERGY LOSSES.

Eng. Ivan Handjiev

TU Varna, Department of Power Engineering

Abstract: *The insulating material must have high resistance and high dielectric strength. The additional desired properties of the insulating material depend on the type of application. The insulation material used for the production of insulated cables / wires must be as flexible as rubber or PVC. On the other hand, the insulator used to maintain overhead power lines must be mechanically strong, such as porcelain or glass insulators.*

Leakage current on the surface of the insulators is one of the components of the technological losses of electricity. Estimates show that in high voltage networks, the energy loss of contaminated glass and porcelain insulators due to high leakage current is of the order of 300 kWh / year of a glass insulator type U120, which in monetary terms is of the order of 25 € for one year.

The energy loss in silicone insulators is almost $40 \div 50$ times lower. Energy savings when using composite silicone insulators are achieved at the expense of small leakage currents on the surface of the hydrophobic contaminated and wet surface of the insulator.

Key words: *Insulation, Leakage current, Energy loss*

1. Изолационни материали.

1.1. Обща информация.

По същество изолационният материал или изолаторът съдържа много малко количество свободни електрони (носители на заряд) и следователно не може да пренася електрически ток. Но перфектен изолатор не съществува, тъй като дори изолаторите съдържат малък брой носители на заряд, които могат да носят ток на утечка (пренебрежимо малък). В допълнение, всички изолатори стават проводими, когато се прилага достатъчно голямо напрежение. Това явление се нарича пробив на изолацията и съответното напрежение се нарича напрежение на пробив.

Изолационният материал трябва да има високо съпротивление и висока диелектрична якост. Допълнителните желани свойства на

изолационния материал зависят от вида на приложението. Изолационният материал, използван за производството на изолирани кабели / проводници, трябва да бъде гъвкав като каучук или PVC. От друга страна, изолаторът, използван за поддържане на въздушни електропроводи, трябва да бъде механично здрав, като порцеланови или стъклени изолатори.

1.2. Важни свойства на изолационните материали.

- Съпротивление (специфично съпротивление) е свойството на материала, което количествено определя колко силно се противопоставя материалът на протичане на електрически ток. Съпротивлението на добрия изолатор е много високо.

- Диелектричната якост на материала е способността да издържа на електрически напрежения, без да се разрушава. Диелектричната якост обикновено се посочва в киловолти на милиметър (kV / mm).

- Относителната диелектрична проникваемост (или диелектрична константа) е отношението на плътността на електрическия поток, произведена в материала, към плътността, получена във вакуум.

- Коефициентът на електрическо разсейване (диелектрична загуба) е съотношението на загубената мощност в материала към общата мощност, предавана през него. Той се дава от тангенса на ъгъла на загубата и, следователно, известен също като $\tan \delta$.

2. ПРОЕКТИРАНЕ НА ИЗОЛАТОРИ

Подобно на повечето проблеми с инженерния дизайн, проектирането на изолатори за въздушни линии се развива чрез комбиниране на теория и практика. Теоретичните аспекти на проблема имат за цел да идентифицират идеалния дизайн, докато практическите аспекти разглеждат по-осезаеми въпроси като производствен процес, производствени разходи и материали, както и опит в обслужването. През последните няколко десетилетия постепенната подмяна на порцеланови и стъклени изолатори с композитни, създаде нови предизвикателства поради различните материали и процеси, използвани при тяхното производство.

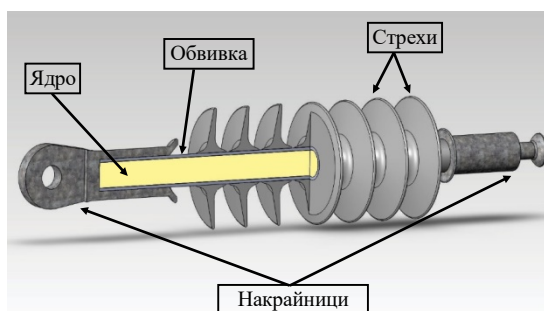
Първата част на тази глава разглежда използваните критерии за проектиране и проблемите, които трябва да бъдат разгледани, за да се получи композитен изолатор, който е подходящ за целта, като се започне с аспектите на дизайна, засягащи механичните и електрическите

характеристики на изолятора. Следва кратък преглед на използваните материали за сърцевината и корпуса. Набляга се на препоръките на международните стандарти по отношение на параметрите, регулиращи дизайна на профила на изолятора. Представен е също преглед на литературата, свързана със натрупването на сняг и лед върху композитни изолятори, преглед на процеса на прескачане на електрическа дъга при замърсяване, както загубите на електроенергия при различните видове изолаторни материали.

Втората част описва дизайна на нов композитен изолатор с подобрени механични характеристики, който може да служи като основен якостен елемент при изолиращите конструкции с напречно рамо. Описана е работата, извършена преди това проучване за проектиране на сърцевината и крайното монтиране на изолятора. Оригиналният принос на тази глава за изследването е проектирането на профила на изолятора, използвайки препоръките на международните стандарти и съществуващата литература, споменати по-рано, както и опита на водещи руски производители като НПО Изолятор, Санкт Петербург и ПАО ИНСТА, Москва. Проектът се основава на предположението, че изолаторът ще бъде част от изолационно напречно рамо (конзола), използвано за подобряване на съществуващите стълбове на въздушни електропроводни от 275 kV до 400 kV.

2.1 Структура на композитния изолатор

Композитният изолатор се състои от сърцевина, обикновено изработена от армиран с влакна полимер (FRP), обвивка и стрехи от EPDM или силиконова гума (SiR) и крайни фитинги от кована стомана, чугун или алуминий (Фигура 2.1)



Фиг.2.1 – Структура на композитния изолатор

2.1. Съображения за проектиране

2.1.1. Механични характеристики

Функцията на сърцевината на полимерните изолатори е двойна: тя е основният носещ компонент и основната изолационна част. Изработена е от полиестерна, епоксидна или винилестерна смола, подсилена с Е- или Е-CR тип стъклени влакна и се формира чрез пултрузионен процес.

По-голямата част от композитните изолатори за въздушни линии са проектирани да могат да издържат на опънни сили, докато изолаторите на стълбовете и конзолните изолатори са подложени на конзолни или компресионни сили или комбинация от двете.

Максималното възникващо механично натоварване, известно също като специфично механично натоварване (SML), се изчислява за редица случаи на натоварване, които вземат предвид следните параметри:

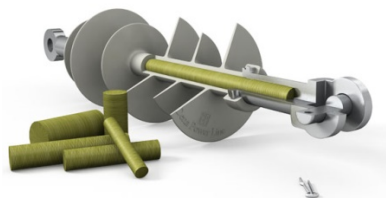
- Тегло на проводника
- Ветрово натоварване
- Натоварване от обледяване
- Натоварвания за строителство и поддръжка
- Натоварвания за сигурност (ограничаване на повреда, скъсан проводник)

Проектното натоварване на изолатора, за всеки случай на натоварване, се определя чрез умножаване на SML по частичен коефициент, който варира между 1,0 и 2,0. Националните нормативни аспекти (NNA) за всяка държава, например BS EN 50341-3-9 за Обединеното кралство, посочват методи за изчисляване на гореспоменатите параметри и препоръчват частични коефициенти за конкретни случаи на натоварване. Някои от тях, които зависят от конкретни изисквания на проекта, могат да бъдат съответно променени, но те не могат да нарушават минималния лимит, определен от NNA.

За да се оцени дългосрочната механична производителност и да се установи рейтингът на композитните изолатори, се използва концепцията за ограничение на щетите, която първоначално е въведена от Dumoga и Feldmann и по-късно приета от IEC 61109. Границата на повреда е границата на критично натоварване, след която сърцевината започва да показва пластично поведение, тъй като по-слабите влакна започват да се чупят. Добре проектираните изолатори могат да издържат на повече от 50%

допълнително от своите SML, за да се избегне трайна деформация на сърцевината, която в крайна сметка може да доведе до механична повреда

Механичната дълготрайност на композитния изолатор зависи от здравината и качеството на сърцевината. Излагането на сърцевината на влага може да наруши механичната цялост на изолатора чрез подбуждане на механизма за напукване на корозионното напрежение, което води до чуплива фрактура. Киселините от околната среда или създадени в резултат на частични зауствания могат да атакуват химически влакната. Ерозията, когато се комбинира с прилагане на механично натоварване, води първоначално до малки, остри пукнатини на отделните влакна. Те продължават да се размножават, напуквайки сърцевината напречно, докато останалите влакна не са в състояние да издържат товара и настъпи пълно счупване. По-голямата част от чупливи фрактури са наблюдавани в близост до накрайника на изолатора в близост до проводника под напрежение. Поради сложния и непредсказуем характер на механизма за чупливо разрушаване се препоръчва да се изберат химически оптимизирани материали за сърцевината на композитни изолатори, да се осигури адекватността на уплътнението, осигурено от крайните фитинги и да се управлява ефективно електрическото поле, за да се избегне възникване на тази неизправност при експлоатация.



2.1.2. Електрически характеристики

Електрическото предназначение на изолатора за въздушни електропроводи е да изолира захранвания проводник от заземяния стълб. Диелектричният материал между металните крайни фитинги е по същество пътека с високо съпротивление за протичане на електрически ток. Подобно на всички други компоненти на енергийната система, изолаторът трябва да бъде проектиран да работи под високо напрежение с висока степен на надеждност. В същото време той трябва да може да издържа на напрежения, различни от тези, произтичащи от непрекъснатото прилагане на работното

напрежение, по-специално импулси от пренапрежение, причинени от удари на мълния или превключващи операции по линията.

За конструкцията на изолятора работното напрежение е основният параметър, който определя дължината на утечката, най-краткото разстояние по повърхността на изолятора. Нивата на мълниите и превключващите импулси се вземат предвид при определяне на разстоянието на прескачане на електрическа дъга в сухо състояние, най-краткото разстояние във въздуха между заземенения накрайник и този под напрежение. Нивата на издържащо напрежение и дължината на утечката са посочени в NNA за всяка държава.

Изолатори за напрежение, kV	110	220	400
Издържано напрежение с промишлена честота, мокро,	≥ 230	≥ 395	≥ 700
Издържано импулсно напрежение 1,2/50, кВ, с дъгозащитна арматура, кВ	≥ 550	≥ 950	$\geq 1'425$
Дължина на пътя на утечка, мм	$\geq 2'460$	$\geq 6'125$	$\geq 10'500$
Изоляционни разстояния, м			
Фаза – земя	1,1	2,1	2,8
Фаза - фаза	1.4	2.4	3.6

Таблица 2.1 показва връзката между работното напрежение, нивата на импулсите и минималните изоляционни разстояния съгласно изискванията на ЕСО, България.

Качеството на материалите, използвани за сърцевината и корпуса, помага да се поддържа електрическата цялост на изолятора. В ранните дни на композитните изолатори електрическите повреди, дължащи се на трекинг по сърцевината, са били често срещани. Сърцевината трябва да има нисък процент кухини, за да намали вероятността от електрически разряди, които водят до влошаване и да намали нейната устойчивост на пробиване. Тези свойства на основния материал се потвърждават чрез тестове за проникване на багрилото и дифузия на водата, посочени в EN 61109.

Междувременно материалът на корпуса трябва да проявява висока устойчивост на трекинг и ерозия при наличие на дъгова активност. За да се постигнат тези свойства, основният материал на корпуса, SiR (Фигура 2.2) или EPDM, се комбинира с пълнителни материали, най-разпространеният от които е алуминиев трихидрат (ATH). Тези материали увеличават топлопроводимостта на корпуса, провеждайки топлина, генерирана от изхвърляния далеч от горещи области на повърхността, като по този начин намаляват скоростта на ерозия. По-специално ATH се разгражда ендотермично, за да създаде алуминиев оксид (Al_2O_3), който е термично

стабилен материал с висока топлопроводимост и водаустойчивост. Ендотермичната реакция също отвежда топлината от системата.

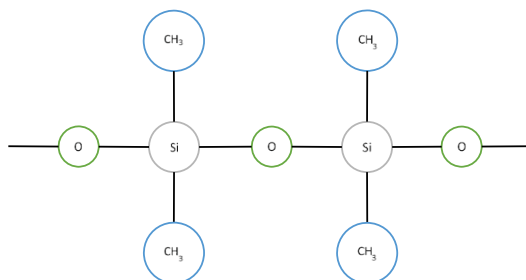


Figure 2.2 - Типична силиконова полимерна химическа структура

От еквивалентно значение за дългосрочните електрически характеристики на изолатора е качеството на допълненията. Проблемите, с които се сблъскват конструкциите на композитни изолатори от първо поколение по отношение на свързването на обвивката със стрехите са решени чрез използване на модерни производствени технологии като шприцоване, макар и за сметка на увеличените разходи за инструментална екипировка. Дори тази технология обаче не е перфектна. Излишният материал, стърчащ от матрицата, създава леярни линии върху стрехите и обвивката. Геометрията на тези линии на матрицата може да изкриви разпределението на електрическото поле, което от своя страна може да ускори деградацията на материала върху матрицата.

2.2. Характеристика на материала за изолация

Основният материал, използван за производството на композитни изолатори (EPDM, SiR) самостоятелно, не е достатъчен, за да осигури дълготрайността на устройството, когато е изложено на външна среда. В експлоатация, освен електрическите напрежения, изолаторът ще бъде подложен на слънчева радиация и ще бъде изложен на различни замърсители и биологичен растеж.. Следователно, в допълнение към анти-трекинг добавки (напр. ATH), се използват няколко други добавки като UV стабилизатори, антиоксиданти и йонни чистачи, които могат значително да повлияят на експлоатационните характеристики на корпусния материал.

Видове електрически изолатори в зависимост от използвания материал:

• **Порцеланови** – Порцеланът е направен от рафинирана бяла глина, наречена каолин, и се изпича при температури до 2600 ° по Фаренхайт. Понякога се нарича „China“, тъй като производственият процес е бил развит преди векове в тази страна. Порцеланът също има плътен цвят, обикновено бял. Порцеланът е по-плътен и по-малко абсорбиращ от керамиката, така че лесно може да издържи на влага и по-тежки метеорологични условия. Поради цената на материалите и интензивния производствен процес, порцеланът е по-скъп за производство. За повечето хора терминът порцелан често означава висококачествена керамика.

• **Керамични** - Керамични изолатори Керамиката е направена от червена, кафява или бяла пореста глина. След като бъде оформен, той се изпича между 2100° и 2300° по Фаренхайт. Керамиката е по-евтина за производство от порцелан. Ако керамиката е глазирана, глазурата се пече само в горния слой.

• **Стъклени** - Изолаторите от стъкло са били използвани по-рано през 18 век предимно за телеграфни / телефонни линии. Използване на керамични и порцеланови изолатори, се разпространява през 19 век. Те се оказаха с по-добри защитни свойства от стъклото и станаха широко използвани. Използването на закалени стъклени изолатори обаче става популярно през годините след Втората Световна война. За разлика от порцелановите или некерамичните материали, закаленото стъкло никога не остарява и по този начин предлага по-дълъг живот. Дисковите изолатори тип ПС от закалено стъкло могат да се използват в окачващи изолатори.

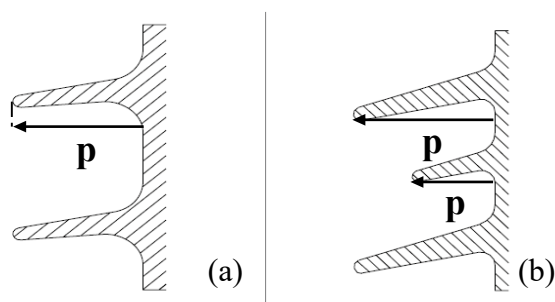
• **Композитни** - Полимерните изолатори са съставени от стержен от фибростъкло, покрита от полимерни изолация. Полимерните изолации обикновено се правят от силиконова гума. Малко други материали също могат да се използват за стрехи, като политетрафлуоретилен (PTFE или тефлон), EPM, EPDM и др. Полимерните изолатори понякога се наричат и композитни изолатори или силоконови изолатори. Те са почти 90% по-леки от порцелановите изолатори и въпреки това предлагат почти еднаква или по-добра здравина.

Композитните изолатори се представят по-добре от стъклото или порцелана във влажна и замърсена среда, главно поради хидрофобния характер на техния корпусен материал [30]. Това се постига с използването на материали за пренос на хидрофобност (НТМ). Такива материали позволяват миграцията на полимерни вериги с ниско молекулно тегло (LMW) от по-голямата част от материала към повърхността, образувайки тънък филм върху замърсяването, ефективно пренасяйки хидрофобността към замърсяващия слой.

2.3. Дизайн на профила

Терминът „профил“ се отнася до размерите на изолятора и формата на неговия корпус. Ползите от ефективността на замърсяването на полимерните изолатори могат да бъдат реализирани само ако профилът е проектиран по подходящ начин въз основа на експлоатационните условия, на които ще бъде подложен изоляторът, и като се вземат предвид всички промени в тези условия, които могат да се случат по време на експлоатационния му живот.

Основните типове профили, използвани за полимерни изолатори, са еднородните (или нередуващи се) и редуващите се (Фигура 2.3), диференцирани по това дали навесите имат еднакъв размер или не. Редуващите се профили предлагат предимството на увеличената дължина на утечката на единица дължина, без да се нарушават мокрите характеристики на изолятора или самопочистващите се свойства.



Фиг.2 Еднороден (а) редуващ голяма-малка (b) профил

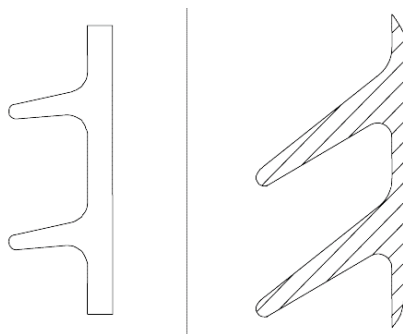
За да се класифицира профил като *еднороден* или *редуващ*, се използва разликата в надвеса на стрехата (p) между голямата и по-малката. Надвесът на стрехата е разстоянието между изолационната обвивка и върха

на стрехата. [Табл. 2.2](#) показва как този параметър се използва за класифициране на изолатори с различна ориентация и общ диаметър.

Табл.2.2 – Класификация на Еднороден и Редуващ профил

		Класификация	
Ориентация	Диаметър	Еднороден	Редуващ
Вертикална	$> 200 \text{ mm}$	$p1 = p2$ $p1 - p2 < 15 \text{ mm}$	$p1 - p2 \geq 15 \text{ mm}$
Друга	$\leq 200 \text{ mm}$	$p1 = p2$ $p1 - p2 < 0.18 p1 \text{ mm}$	$p1 - p2 \geq 0.18 p1 \text{ mm}$

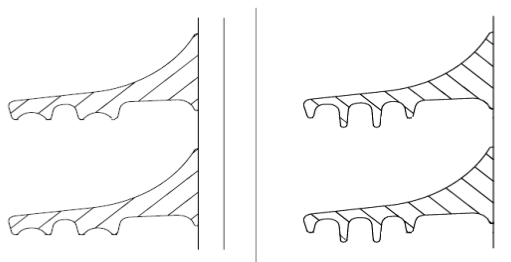
Профилите също могат да бъдат класифицирани като *Отворени* или *Стръмни* (Фигура 2.4) въз основа на наклона на навесите им. Отворените профили имат най-голям наклон от 20° или по-малко и могат да се използват във всички среди както във вертикална, така и в хоризонтална ориентация. Те се представят изключително добре в сух климат и в близост до райони, където вятърът пренася твърдо замърсяване върху изолаторите. Те могат също да бъдат почистени лесно по време на поддръжка. Стръмните профили са по-подходящи за места, където течните замърсители, като солена вода или киселинен дъжд, се отлагат по-често на повърхността на изолатора.



Фиг. 2.4 - Отворен (a) и стръмен (b) профил

Освен това има полимерни профили с плитки или дълбоки (фигура 2.5) подребра. Подребрата увеличават защитната дължина на утечката на изолатора и е известно, че се представят по-добре в среда с тежка солена

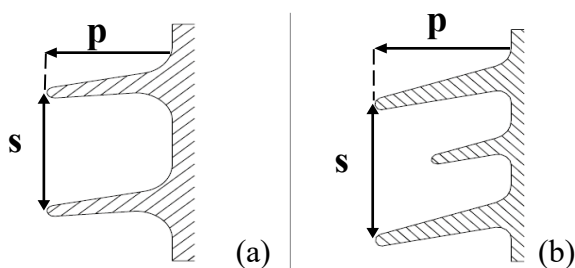
мъгла или спрей. От друга страна, те не са подходящи за райони, където върху повърхността на изолятора може да се натрупа твърдо замърсяване, тъй като подребрата са склонни да се пълнят със замърсители и са трудни за почистване



Фиг. 2.5 – профил с плитко (a) и дълбоко (b) подребрис

2.4. Параметри на ефективността на профила

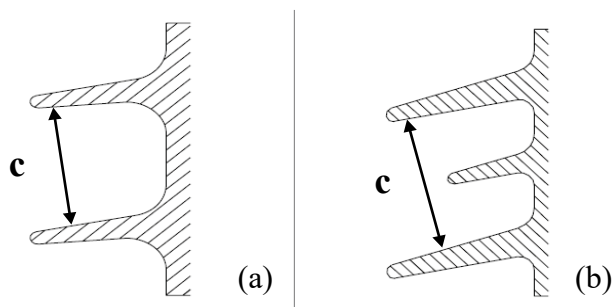
В допълнение към вида на профила има още няколко параметъра, които трябва да се вземат предвид при проектирането на корпуса на изолятора, които могат да повлияят на работата на изолятора по различни начини. Съотношението на вертикалното разстояние между две последователни стрехи/ребра с един и същ диаметър спрямо вертикалното разстояние между обвивката на изолятора и върха на реброто (Фигура 2.6) е известно като дистанция (s) спрямо надвеса на реброто (p). Малките стойности на този параметър показват дълбок и / или тесен профил с намалени самопочистващи се свойства, които могат да получат намалена производителност при силно замърсяване.



Фиг. 2.6 – Дистанция(a) спрямо надвес на стряхата (b)

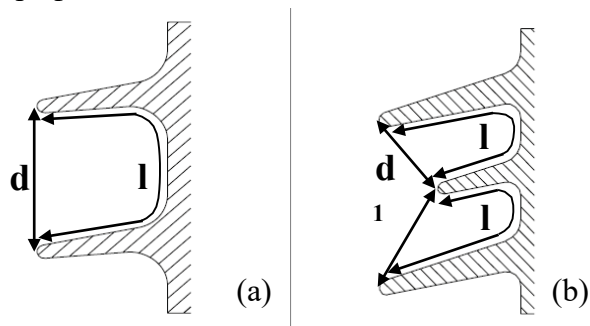
Минималното разстояние между стрехите/ребрата (s) е най-краткото разстояние от дъното на реброто до върха на следващото ребро със същия диаметър (Фигура 2.7). Колкото по-малък е този параметър, най-лесно е да

се развие дъга през стрехите, преодолявайки пътя на утечката. Ако разстоянието между ребрата е твърде малко, ползата от добавянето на допълнителна дължина на утечката става излишна.



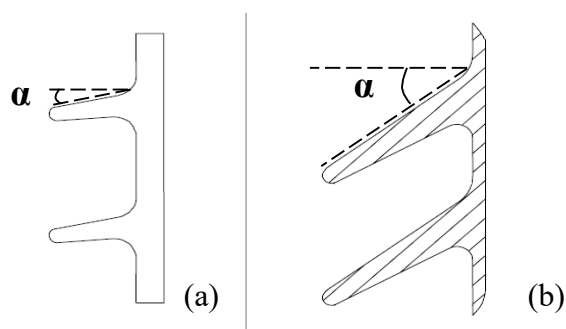
Фиг. 2.7 – Минимално разстояние между ребрата

Най-краткото разстояние във въздуха между върховете на две последователни ребра или върха на ребро и най-близката метална част се нарича хлабина (d), докато пътят върху повърхността на изолятора между тези две точки е разстоянието на пълзене (l). Съотношението между разстоянието на пълзене и изолационното разстояние (Фигура 2.8) е важно за контролиране на преодоляването по дъги при поява на сухи ленти или неравномерна хидрофобност.



Фиг. 2.8 – Дължина на утечката и изолационно разстояние (хлабина)

Ъгълът на навеса (α) е мярка за стръмността на профила. Той определя поведението на оттичането на вода на повърхността на изолятора. При условие, че този ъгъл не е прекалено малък, изоляторите с остър ъгъл на навес (отворен профил) показват по-добри самопочистващи се свойства.



Фиг. 2.9 – ъгъл на стрехите

Коефициентът на пълзене (CF), известен също като плътност на разстоянието на пълзене, се определя като отношение на общото разстояние на пълзене (L) на изолятора спрямо разстоянието на дъгата (A). Това е по-общ параметър, който показва колко плътно са подредени навесите или с други думи колко е плътно разстоянието на пълзене за единица дължина. Поради подобрените си характеристики на замърсяване, полимерните изолятори са проектирани с намалено разстояние на пълзене в сравнение с техните керамични алтернативи. Важно е обаче да се отбележи, че силно замърсяване може да доведе до временна загуба на хидрофобност, което прави композитния изолатор да се държи по-скоро като стъклен изолатор за кратки периоди от време. Този най-лош сценарий трябва да се вземе предвид при определяне на разстоянието на пълзене. Освен това е показано, че с увеличаване на общия диаметър на изолятора, напрежението на замърсяването на замърсяването намалява. Следователно е желателно увеличаване на разстоянието на пълзене, тъй като диаметърът на изолятора се увеличава, особено за диаметри над 300 mm.

IEC / TS 60815-3 категоризира стойностите на параметрите, споменати по-горе, в три класа (без, незначителни, големи отклонения) въз основа на това колко те могат да намалят производителността на изолятора. Препоръчва се нито един от параметрите да не е в категорията „голямо отклонение“ и за предпочитане само с един в категорията „незначителни отклонения“. Таблица 2.3 показва препоръчителните стойности на гореспоменатите параметри за различни позиции на изолятора, размери и типове профили.

Параметър	Позиция / Размери	Профил	Отклонение		
			БЕЗ	МАЛКО	ГОЛЯМО
s/p	Shank diameter $\leq$ 110 mm	w/ under- ribs	0.85 - 1	0.75 - 0.85	0.4 - 0.75
		w/o under-ribs	0.75 - 1	0.65 - 0.75	0.4 - 0.65
	Shank diameter $>$ 110 mm	w/ under- ribs	0.75 - 1	0.6 - 0.75	0.4 - 0.6
		w/o under-ribs	0.65 - 1	0.5 - 0.65	0.4 - 0.5
c (mm)	All	Еднороден	25 - 50	22.5 - 25	20 - 22.5
		Редуващ	40 - 50	30 - 40	20 - 30
l/d	All	All	0 - 4.5	4.5 - 5.5	4.5 - 7
α	Вертикална	All	5° - 25°	0° - 5° 25° - 35°	35° - 60°
	Хоризонтална c < 30 mm		0° - 20°	20° - 30°	30° - 60°
CF	All	All	2.5 - 4.25	4.25 - 5	5 - 5.5

2.5. Управление на електрическото поле

Съвременните композитни изолятори са проектирани да разпределят електрическото поле около техните фитинги по-ефективно от изоляторите по-старо поколение (стъклени и керамични). Следователно проблемите с радиосмущенията от изоляторите обикновено са минимални. Последните проучвания обаче показват, че локализираните короновни разряди в близост до електродите могат да ускорят разграждането на материала и да намалят експлоатационния живот на изолятора. В повечето случаи областта, в която се наблюдава най-високото електрическо поле върху изолятора, е тройното кръстовище, точката, където се срещат корпусът, сърцевината и металния накрайник. Ако изоляторът не е проектиран с оглед на защитата на този елемент, възможно е разрядите да започнат да разрушават уплътнителния материал, който поддържа изолятора водонепропусклив. Поради тези причини се препоръчват подходящо проектирани градуиращи пръстени, особено за по-високи напрежения (110 – 400 кВ).

2.6. Натрупване на сняг и лед

Въпреки факта, че натрупването на сняг и лед не е проблем за много енергийни системи, това може да има опустошителни последици, ако не се вземе предвид. Ярък пример са заледяванията, които се случиха в Канада през януари 1998 г. доведоха до унищожаване на инфраструктурата на електроенергийната система с приблизителна цена от един милиард канадски долара и оставиха повече от четири милиона клиенти без електричество за периоди между три и тридесет дни. За изолаторите натрупването на лед представлява друга форма на замърсяване. Той има тенденция да бъде неравномерен, оставяйки участъци по дължината на изолатора без покритие от лед. Тези участъци са известни като въздушни междини и се образуват или по време на заледяване, или след това в резултат на топене или отделяне на лед. Процесите, включително натрупване на мокър лед, кондензация, частични разряди, повишаване на температурата или слънчево облъчване могат да инициират образуването на воден филм на повърхността на изолатора, който в повечето случаи е проводящ поради наличието на други замърсители. В резултат на това електрическото напрежение във въздушните междини се увеличава до точката, в която те са преодоляни от дъги с ниска енергия. Ако процесът продължи, дъгите също ще се разпространяват по ледената повърхност, образувайки дъги с по-висока енергия. Пробив се случва, когато дъгата надвишава определена дължина.

За да се смекчат ефектите от натрупването на лед и сняг, изолаторите трябва да бъдат проектирани по подходящ начин въз основа на ефектите, които това явление може да окаже върху тяхната работа. До известна степен натрупването на сняг и лед може да промени формата и свойствата на повърхността на изолатора, често намалявайки разстоянието на изтичане до разстоянието на дъгата. В най-тежките случаи новият път на утечка по ледената повърхност може приблизително да се превърне в една трета от разстоянието на утечка на изолатора. Следователно, един от най-важните конструктивни параметри за изолаторите в такива среди е разстоянието на дъгата, тъй като нивото на проблясъка се увеличава почти линейно с увеличаването на дъгозащитното разстояние. Проучванията показват, издръжливостта на изолаторите на напрежение с промишлена честота може да бъде намалена с повече от 40%. Освен това, докато е установено, че

издръжливостта на мълния им остава незасегната, издръжливостта на превключващия импулс може да бъде по-ниска с до 50% в сравнение с чистите условия.

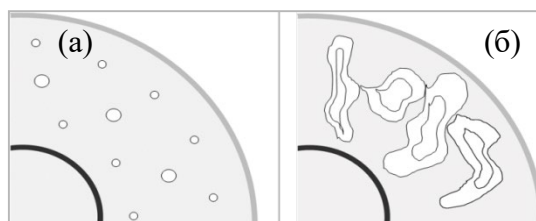
Другите параметри на профила също са от голямо значение. Изолаторите с малко разстояние между стрехите, по-често срещани за полимерните изолатори и малка дълбочина на навеса, се запълват по-лесно с лед или сняг. Установено е, че редуващи се профили и профили с по-голямо разстояние на по-големи навеси за изолатори със сравнително разстояние на утечка се представят по-добре при умерено и силно заледряване, тъй като осигуряват увеличено разделяне между стрехите, което забавя съединяването на леда на леда. Освен това профилите с три или четири различни диаметъра на навеса показват по-добри показатели от профилите с два различни диаметъра на навеса, тъй като по-големите навеси осигуряват защита на по-малките навеси от мостове от лед. Общият диаметър на изолатора също е фактор, който влияе върху производителността. Изолаторите с по-голям диаметър са склонни да натрупват повече лед поради увеличената повърхност за същия период на натрупване на лед, което не само увеличава теглото им, но и намалява критичното им напрежение.

Ориентацията на изолатора също е фактор, влияещ върху ефективността. Натрупването на сняг и лед е по-очевидно от наветрената страна на изолатора, обикновено се простира по целия диаметър на изолатора. Изглежда, че вертикално инсталираните изолатори се представят по-зле при условия на лед и сняг. Напротив, хоризонталните изолатори и изолаторите, монтирани под ъгъл, като V-струни, изискват по-дълги ледници, за да бъдат свързани със стержените, така че те са склонни да се представят по-добре. Често снегът се задържа и в пространствата между изолационните снопове, което може да създаде проблеми за конфигурации като изолационни конзоли.

2.7. Пробив при замърсяване

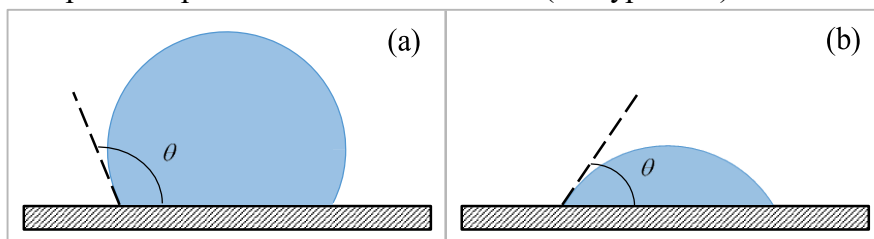
Процедурата, която потенциално може да доведе до пробив в полимерни изолатори, изработени от EPDM или SiR, започва с отлагането на замърсители върху тяхната повърхност. Ако изолаторът се намира близо до морето, замърсителят обикновено е под формата на сол, разтворена във водни капчици.

В райони, разположени по-навътре във вътрешността на страната, замърсителите се състоят главно от прах и други въздушни частици, които след отлагането им върху повърхността на изолатора могат да абсорбират влага от мъгла или роса. Първоначално хидрофобните свойства на изолационния материал принуждават замърсяването да образува отделни капчици на повърхността на изолатора (Фигура 2.10 (а)).



Фиг. 2.10 - Хидрофобна (а) и хидрофилна (б) изолационна повърхност

Условията на околната среда, като например UV лъчението, заедно с повърхностната дъга, унищожават хидрофобността и в крайна сметка водят до образуване на равномерен слой замърсяване и непрекъснат воден филм на повърхността (Фигура 2.10 (б)). Загубата на хидрофобност често се определя чрез измерване на ъгъла на контакт (Фигура 2.11).



Фиг. 2.11 - Измерване на контактния ъгъл - (а) хидрофобен, (б) хидрофилен

Въпреки наличието на замърсяване, EPDM и SiR изолаторите могат да възстановят своите хидрофобни свойства след кратък период без дъга (10 - 12 часа), нещо, което ги отличава от по-старите стъклени и порцеланови изолатори. Това се случва поради дифузията на полимерни вериги с ниско молекулно тегло (LMW) от по-голямата част от материала към повърхността, образувайки тънък слой върху замърсяването. Фигура 2.12 (а) показва изолатор на опън, който е в експлоатация от тринадесет години, докато Фигура 2.12 б) показва изолатор, който е бил подложен на изпитване

с флаш, използвайки парна мъгла, след като е бил изкуствено замърсен. Последният е оставен да изсъхне за около 24 часа и след това се напръсква с деминерализирана вода. Въпреки че и двете са очевидно замърсени (кафяви / бели остатъци на повърхността), лесно е да се разграничат отделните водни капчици, образуващи се в по-голямата част от повърхността им, доказателство за гореспоменатия процес на Low Molecular Weight tip дифузия на течности.



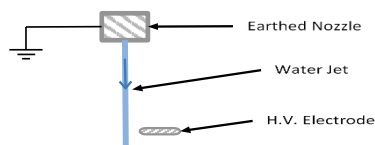
Фиг. 2.12 – остарели в експлоатация (a) и изкуствено замърсени (b) изолатори

Висока влажност, дъжд или мъгла мокрят повърхността на изолятора, разтваря солта, съдържаща се в замърсяващия слой. Разтворът се издига над тънкия слой полимерни вериги LMW поради дифузия, създавайки отделни, проводящи капчици. Слойт около всяка капчица става силно резистивен, което, ако овлажняването продължи, допълнително увеличава съпротивлението с присъединяването на съседните мокри области.

Плътноста на капките се увеличава с непрекъснато навлажняване и разстоянията между капчиците намаляват. Капките се удължават в резултат на трептящата сила, произведена от взаимодействието на променливотоковото поле с тях. След това съседните капчици могат да се съберат, за да образуват произволни проводими области, заобиколени от области с високо съпротивление на повърхността на изолятора. Тези области ефективно намаляват електрическото разстояние между електродите, което усилва електрическото поле между тях, в крайна сметка причинявайки разряди.

Полимерната повърхност е овъглена от разрядната активност, което в резултат води до намаляване на хидрофобността. Съседните проводящи области вече могат да се сближат още по-близо, образувайки непрекъснат проводящ път на повърхността на изолятора за електрическа дъга, която да бъде инициирана според критерия на Хамптън. Хамптън измислил експеримент, при който разрядът е бил иницииран от електрод много близо до постоянно работеща колона с физиологичен разтвор, подаван през

заземена дюза (Фигура 2.13). Той показва, че дъга може да бъде инициирана само ако средното напрежение във водната струя е по-голямо от средното напрежение в разряда. В практически приложения това означава, че дъгата ще се простира над съседната влага само ако полето на повърхността на изолятора надвишава това в дъгата. Наличието на високи токове определя дали дъгата може да се простира до точката, която предизвиква проблясък, или тя остава локализирана. Следователно, ако критерият на Хамптън е изпълнен, тогава дъгата може да се разпространи по повърхността на изолятора, преодолявайки разстоянието между крайните фитинги HV и LV и причинявайки пробив.



фиг.2.13 – Експеримента на Hampton

3. Еволюция на полимерните изолятори

3.1. Полиолефинови изолятори



Фиг. 2.14 Полиолефинови изолятори

Приложение в Енергетиката – Полеолефиновите изолатори са забранени за използване в енергетиката на много държави.

3.1. Полимерни изолатори първо поколение

ПОЛИМЕРНИ ИЗОЛАТОРИ ПЪРВО ПОКОЛЕНИЕ



Фиг. 2.15 Полимерни изолатори Първо поколение

3.2. Полимерни изолатори второ поколение

ПОЛИМЕРНИ ИЗОЛАТОРИ ВТОРО ПОКОЛЕНИЕ



Фиг. 2.16 Полимерни изолатори Второ поколение

Изолаторите от второ поколение са се появили в САЩ през 70-те години на миналия век. Изолационната обвивка на тези изолатори се състои от отделни елементи (ребра) произведени от силиконова гума и нанизани ръчно върху стъклопластов стержен (пашлычная технология).

Експлоатационния опит се оказал повече удачен отколкото при епоксидните изолатори от първо поколение. Тези изолатори се използват и сега, повече от 30 г.

- **ПРЕДИМСТВА** – Добра устойчивост към външни въздействащи фактори (UV радиация, замърсяване и влага).

- **НЕДОСТАТЪЦИ** – Голяма зависимост за качеството на изолатора от човешкия фактор. Невъзможност да се контролира качеството на ръчното монтиране на ребрата. Възможност от разхерметизация на защитната обвивка в резултат от неправилна експлоатация, актове на вандализъм, ниска надеждност на граничния участък РЕБРО / РЕБРО.

4. ПОЛИМЕРНИ ИЗОЛАТОРИ ПОСЛЕДНО ПОКОЛЕНИЕ



Фиг. 2.17 Полимерни изолатори последно поколение (течна гума)

4.1. Описание на конструкцията и технологията

4.1.1. **Носещ /централен/ прът:** Носещият механичните усилия изолационен прът (тип FRP) е изработен от епоксидна смола електротехнически тип, надлъжно армирана с фибростъкло (тип E-CR fiberglass). Преди нанасянето на защитната силиконова обвивка прътът се обработва със специален праймер, обезпечаващ високото сцепване/адхезия

на обвивката към пръта. По такъв начин се изключва отделянето на обвивката от пръта и се гарантира херметичността на конструкцията в случай на вандализъм и неправилна работа с изолаторите.

4.1.2. Силиконова обвивка

- **Материал:** Външната изолационна обвивка на изолаторите е изработена от силиконов каучук – с полидиметилсилоксан (PDMS) като базов полимер. Тегловното съдържание на базовия полимер в крайния продукт е 51 %.

- **Формиране на силиконовата обвивка:** Формирането на силиконовата обвивка върху носещия прът се изпълнява едновременно в пресформа по процес HTV (high temperature vulcanizing). Процесът на формиране (вулканизиране) на обвивката е еднократен (цялата обвивка, в това число стрехите, се формират едновременно). Дебелината на силикона на пръта е 4,5 мм. Защитното покритие няма шевове (разделителни граници) между ребрата, с което се обезпечава херметизацията и устойчивост в случай на вандализъм и неправилен монтаж. Силиконовата обвивка е хомогенна и гладка по цялата дължина на изолационна част, напълно херметична, без пори и дефекти, които биха могли да проведат влага към ядрото. Ръбовете (от вулканизационните шевове) напълно се отстраняват след вулканизирането.

- **Стрехи:** Формата на стрехите е разработена съгласно IEC 60815 и е оптимизирана за добро самоочистване (аеродинамичност). Изолаторите са с променлива ширина на стрехите (редуващи се голяма/малка). Разстоянието между големите стрехи е 38 мм.

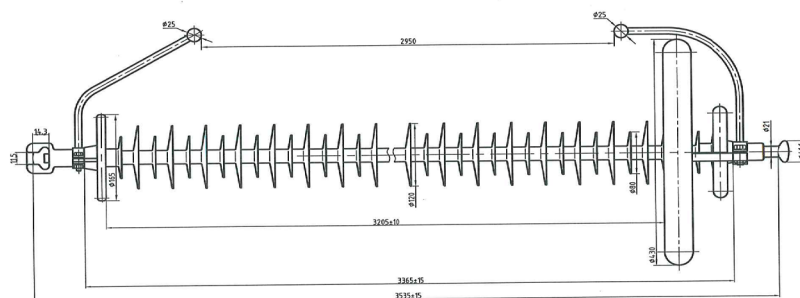
- **Накрайници:** Металните накрайници са изработени от високоякостна стомана, и горещо цинковани, с дебелина на покритието минимум 70 µm. Закрепването към носещия прът на изолатора е изпълнено чрез пресоване, и гарантира механичната здравина на изолатора през време на целия експлоатационен живот (не по-малко от 30 години). Изолаторът е устойчив на пълно счупване (brittle fracture) дори при електрически пробив и нарушаване на полимерната обвивка. Накрайниците тип “кратунка” (socket) откъм заземената част и тип “обица” (ball) откъм частта под напрежение са с размер 16 по IEC 60120. Задържащите шплентове отговарят на IEC 60372-1. Областта «метален накрайник – носещ прът – силиконова обвивка» е надеждно херметизирана за целия експлоатационен живот на

изолатора. Херметизирането на връзката «накрайник – силиконова обвивка» е изпълнено чрез пресоване с едновременно промазване със силиконов херметик. Изолаторите имат дъгозащитни екрани, които едновременно са защита от електрическо изпразване - ефект “електрическа корона” и изравняват електрическото поле за намаляване на радиосмущенията и удължаване срока на използване на полимерните материали. Дъгозащитните екрани са закрепени в двата края на изолатора и са част от него. Експлоатацията на изолатори без екрани е забранена, а изпитанията се считат за неточни и не се извършват.

4.2. Условия за експлоатация на изолаторите

Изолаторите и дистанционерите се монтират при следните условия на околната среда:

No.	Климатични условия	
1.	Климат	УХЛ
2.	Максимална надморска височина	1000 м
3.	Минимална околна температура	– 60 ⁰ С
4.	Максимална околна температура	+ 50 ⁰ С
5.	Относителна влажност на въздуха	98 – 99 %
6.	Максимална скорост на вятъра	35 m/s
7.	Максимална дебелина на леда върху проводника	40 мм
8.	Степен на замърсяване Дължина на пътя на утечката	IEC 60815 – IV 30 mm/kV
9..	Гръмотевична дейност	умерена до интензивна 30-50 ч/год
10.	Начин на монтаж	вертикално и наклонено до 45 ⁰ от вертикала



Фиг. 2.18 Линеен висящ изолатор за напрежение 400 kV

4.3. Технология на нанасяне на защитната обвивка

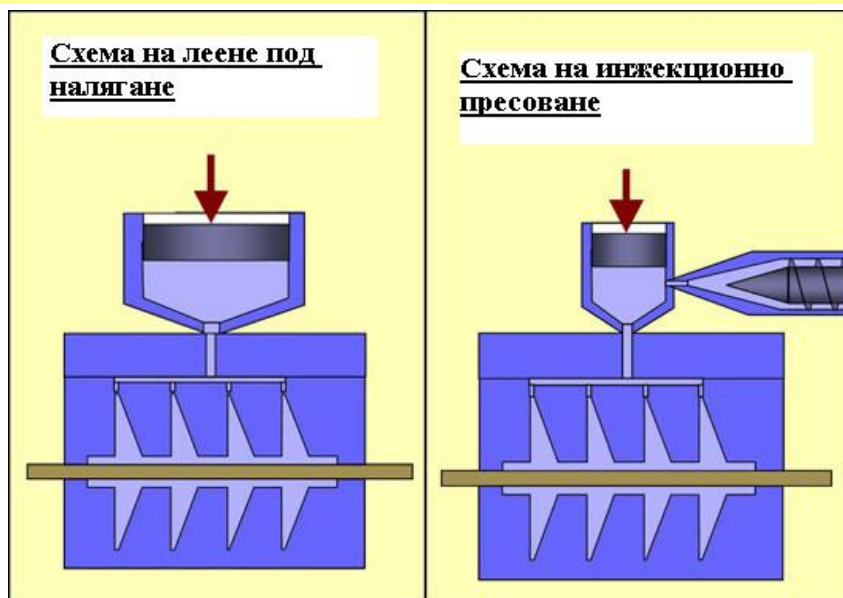


За производството на ребровидната защитната обвивка на дистанционера (изолатора) се използва силиконов компаунд притежаващ висока трекинг-ерозионна устойчивост, превъзходна хидрофобност, висока устойчивост срещу въздействието на факторите от окръжаващата среда и много добри технологични показатели.

Използването на технологията на монолитно формоване за получаване на защитната обвивка на дистанционера (изолатора) от Високотемпературно вулканизиран (НТВ) силиконов каучук, позволява да се получат висококачествени монолитни дистанционери (изолатори).

Преимущества на технологията за лееие под налягане и инжекционното пресоване

- Възможност за вакуумиране на пресформите преди пресоването – отсъствие на въздушни включения.
- Неголеми ръбове по краищата на пресовата форма или пълната им липса



Фиг. 2.19 Видове лееие на силиконовата гума

4.4. Граничен участък "СТЕРЖЕН - ЗАЩИТНА ОБВИВКА"

Голямо внимание в конструкцията на изолаторите се отделя на качеството на граничния участък между различните материали.

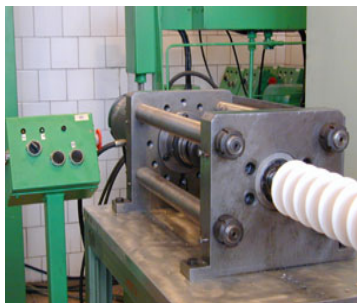


Нанасянето на монолитната защитна обвивка във вакуумирана пресова форма върху предварително обработен със специален материал (Праймер) стъклопластов стержен и нейната вулканизация непосредствено на стержена, обезпечава висока якост и непрекъснатост на граничния участък Стержен – Защитна обвивка.

Стойността на адхезията (слепване) на защитната силиконова обвивка към стержена превишава якостта на защитната обвивка, благодарение на което се изключва възможността на отделяне на защитната обвивка от стержена при механически усилия. Благодарение на използваната технология на монолитно нанасяне на ребровидното покритие, липсват “шевове” между ребрата (слабото място на изолаторите произведени по "пашлычната" технология, технология на нанизване на ребрата върху стержена), което съществено повишава надежността на изолатора.

Високата надежност на граничния участък “Стержен – Защитна обвивка” и отсъствие на граничен участък “Шев” между ребрата позволява при необходимост да се прави обмиване на изолатора със струя с вода под високо налягане, без риск от разхерметизация на конструкцията. При опит за насилствено отделяне на монолитната силиконова Защитна обвивка от стержена, това не води до оголването му и разхерметизацията му. Това свойство обезпечава високата устойчивост на дистанционера (изолатора) на вандалски актове.

4.5. Опресоване на накрайниците

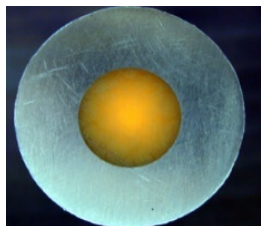


Използвания напоследък способ за равномерна опресовка на стержените в накрайниците, чрез матрици с цилиндрически профил обезпечават висока механическа якост на съединението, при щадящо въздействие към стержена.

Фиг.2.20 Опресоване на накрайниците

4.5.1. **Преимущества на цилиндрическата опресовка** –

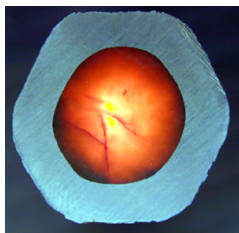
Действащите върху стержена вътре в накрайника усилия остават еднакви по цялата повърхност на контакта, което напълно изключва появяването на пукнатини в зоната на пресоване. Възможност за напълно използване якостния ресурс на стержена



Фиг.2.21 Цилиндрична опресовка

4.5.2. **Недостатъци на шестограмното опресване**

- Предизвиква неравномерност на радиалните напрежения, предизвикващи появата на напрегнаост между влакната на стержена и оттам до появата на пукнатини.
- Лошо използване на якостния ресурс на стержена.

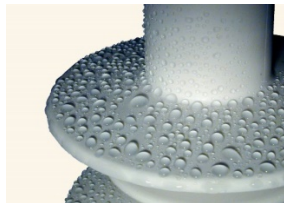


Фиг. 2.22 Шестограмно опресване

5. **Свойства на силиконовите изолатори**

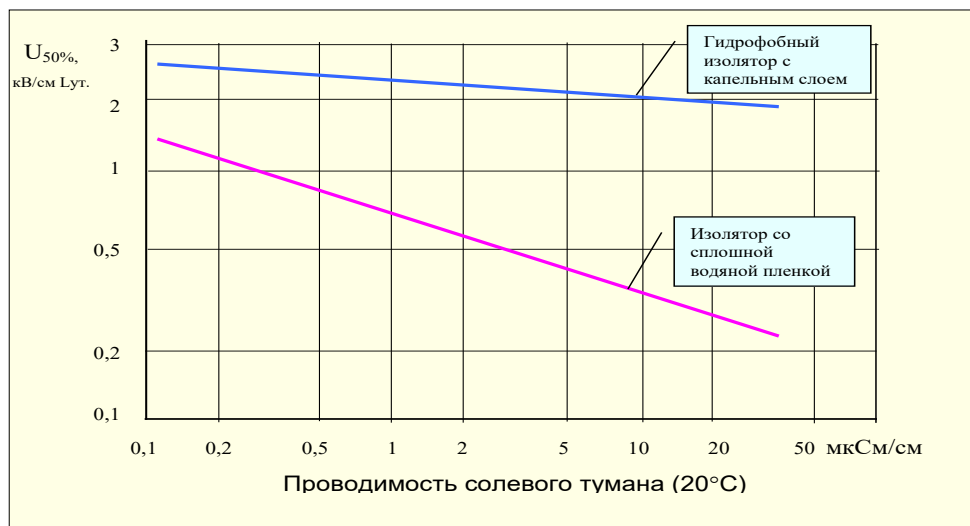
5.1. Хидрофобността – най-важното свойство на силиконовите изолатори

Високата степен на хидрофобност на силиконите обезпечават ниски токове на утечката и високи разрядни характеристики даже в мокро и замърсено състояние, тъй като по повърхността на изолятора не се образува проводящ слой.



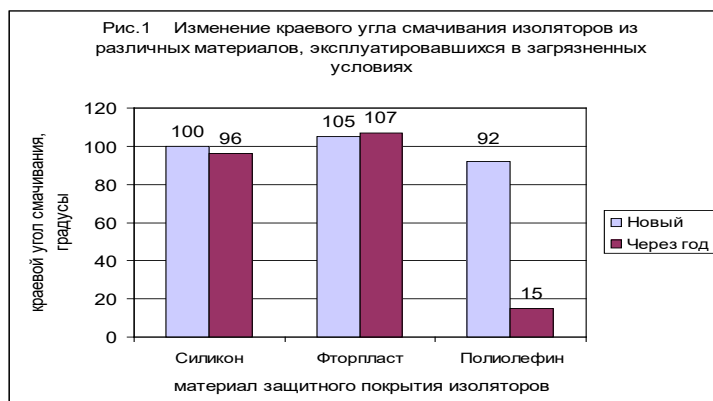
Фиг. 2.23 Хидрофобност на изолятора

Влияние на хидрофобността на електрическата якост



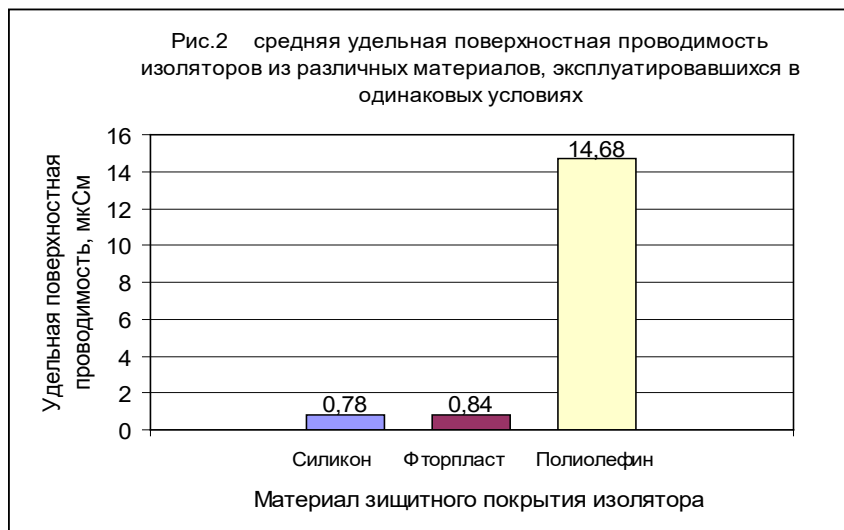
На тази графика са представени резултатите от експеримента по определяне влиянието на хидрофобността на повърхността на изолятора на големината на разрядното напрежение. Два идентични по форма изолятора, но с различни повърхностни свойства са се изпитвали в камера със солена мъгла. От графиката се вижда, че при много силно замърсяване електрическата якост на хидрофобния изолятор е около 6 пъти по-голяма от тази на хидрофилния изолятор. Различния наклон на графиките показва, че замърсената среда оказва много по-голямо влияние на електрическите характеристики на хидрофилния изолятор, отколкото на хидрофобния.

5.2. Запазване на хидрофобността с времето



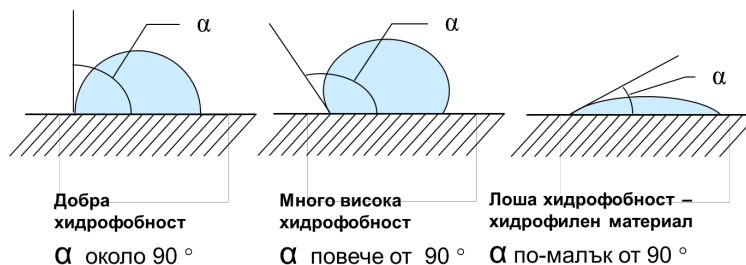
На диаграмата са показани резултатите от експеримента за определяне влиянието на замърсеността на околната среда на хидрофобността на изоляторите, изработени от различни материали. Нови изолятори за контактната мрежа на градския транспорт са били монтирани в Москва, в най-замърсените участъци на пътя. Свалените след една година от линиите изолятори са била проверена хидрофобността. Както се вижда от диаграмата Силиконовите и Флуоропластовите изолятори са запазили своята хидрофобност, а полиолефиновите – са я загубили

5.3. Влиянието на хидрофобността на изолиращите качества

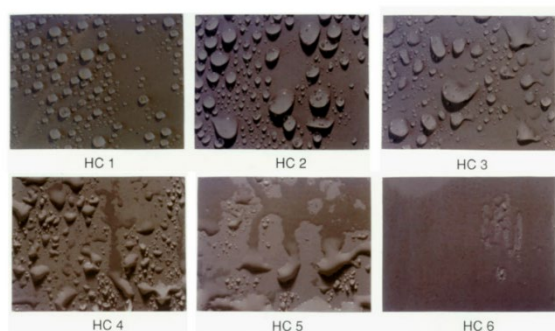


Тази диаграма показва, че вследствие на загуба на хидрофобността, тока на утечката по повърхността на полиолефиновите изолятори е 15 – 20 пъти по-голям отколкото при хидрофобните изолятори.

5.4. Измерване на хидрофобността



5.5. Класификация на хидрофобността



В новите стандарти на полимерните изолатори за външен монтаж, монтирани след 2003 г. е въведен норматив по хидрофобност на техните повърхности. Хидрофобността на полимерните изолатори трябва да бъде не по-ниско от клас 3.

5.6. Устойчивост на замърсяване.

Замърсения изолятор запазва хидрофобните си свойства - Обезпечава се сметка на дифузията на нискомолекулярната фракция на силикона в слоя на замърсяването.



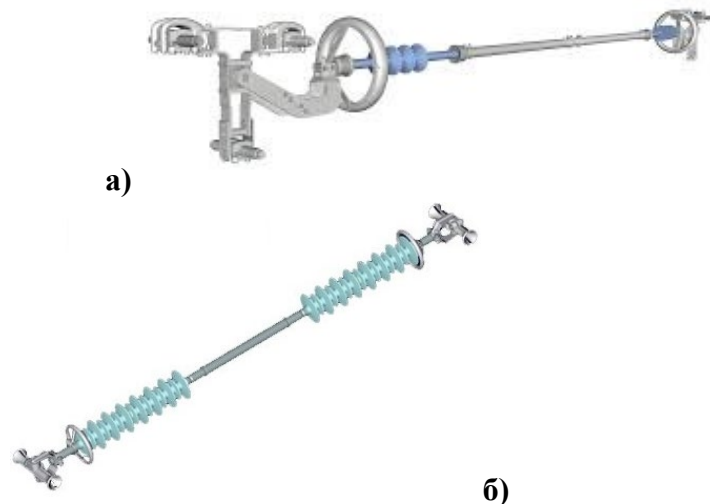
Фиг. 2.24 Хидрофобност на силиконов изолятор, експлоатиран на електропровод в течение на 15 г и имащ слой замърсяване.

6. Междофазни изолатори / дистанционери

6.1. Дистанционери за високо напрежение

Междофазните изолиращи полимерни дистанционни елементи са проектирани да изключват опасното сближаване между проводници от различни фази и мълниезащитни кабели при силен вятър, танцуващи проводници, образуване и изхвърляне на лед върху въздушни електропроводи с напрежение до 750 kV. Представяват два изолаторни елемента и свързващо звено. Дистанционерите значително ограничават амплитудата на вибрациите на проводниците и гарантират, че необходимите разстояния на изолация между фазите се поддържат в критични точки. Те играят ролята на:

- Виртуален стълб, не позволяващ на проводниците да “пляскат”и
- Имат демфериращи (виброгасителни) възможности при вятър.

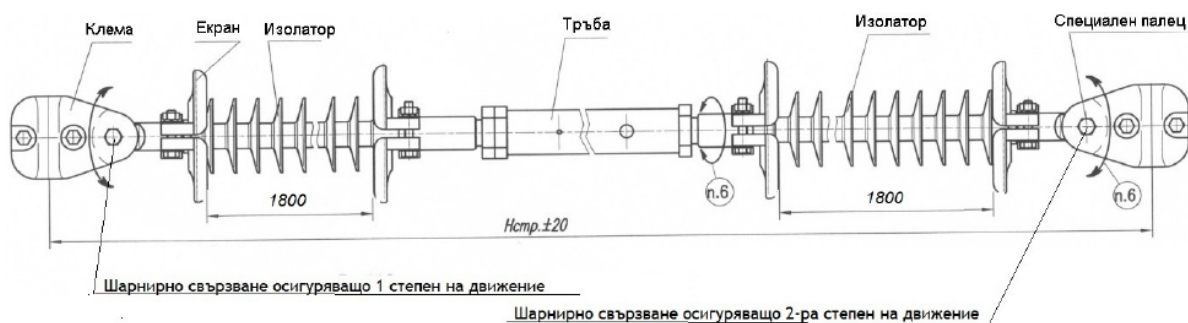


Фиг. 2.25 Междуфазни дистанционери за 400 кВ (а) и 110 кВ (б)

Дистанционерите са оборудвани с клеми за захващане към алуминиево-стоманени проводници, осигурявайки сигурно захващане на проводника и в същото време не причиняват неговата деформация или разделяне на нишките в условията на експлоатация. За дистанционери за напрежение 220 – 400 кВ са предвидени специални спирални протектори, поставени върху проводника за избягване нараняването му впо време на експлоатация. Изработени са от алуминий или алуминиева сплав. Захващането на клемите към дистанционера осигурява тяхното свободно люлеене и възможност за абсорбиране на вибрации. Конструктивно клемите са разработени така, че да не представляват препятствие за вълни с малка амплитуда (да има демпферащ ефект). Каналите на клемите са гладки, нямат вълни, ръбове и други грапавини по повърхността.

Връзката между двата изолатора се осъществи посредством свързващо звено. Неговата дължина се подбира така, че осигурява определени габаритни размери на дистанционерите. Това са размери са между осевите разстояния между двете клеми за захващане на проводника. За намаляване на общото тегло, звеното, свързващо двата изолатора е изработено от тръба от алуминиева сплав. Материалът и сечението на свързващото звено са подбрани така, че да се осигурят механичните

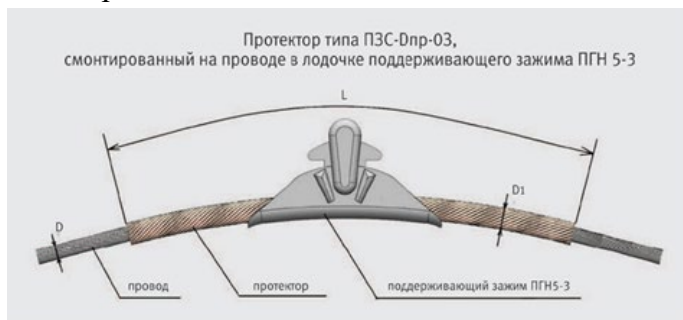
характеристики на цялото изделие. При натоварване на дистанционера с повече от 50 kN звеното се разрушава. Връзката между свързващото звено и изолятора е „твърда“.



Фиг. 2.26, Чертеж на дистанционер 220 кВ

Дистанционерите имат две степени на движение. Единият изолаторен елемент е шарнирно свързан с клемата си към единия сноп проводници, а другият изолаторен елемент е шарнирно свързан с клемата си към другия сноп проводници. Дистанционера има две точки в които се движи при люлеене (галопиране) на проводниците, спрямо равнината на проводниците.

Поради голямата тежест на дистанционерите 220 кВ се използват спирални протектори, които се монтират върху проводника в мястото на монтаж към проводника.



2.26 протектори за проводник AC/ACO

6.2. Дистанционери средно напрежение

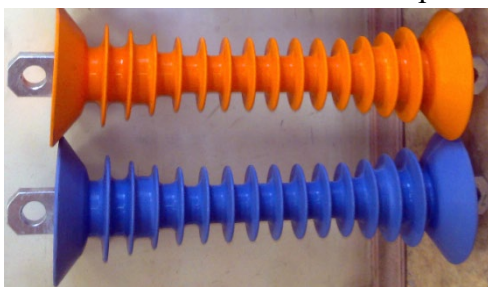
За изграждането на по-надеждни електропроводни линии за средно и високо напрежение е необходимо да има достатъчно разстояние между фазовите проводници. Съществува много трудна ситуация за ВЕЛ през зимата със специални климатични условия, когато температурата е 1-2 ° C, с влажност над 80% и силен вятър. Тези условия образуват обледеняване -

ледена покривка над алуминиевите проводници с диаметър 10-15 см. Това предизвиква много силно механично натоварване на електропровода като цялостна структура. За съжаление линиите не са предназначени за тези екстремни условия и могат да причинят тяхното разрушаване.

От друга страна, когато ледената покривка се топи и пада на земята, проводниците започват да "играят" и това може да доведе до доближаване на фазите, късо съединения и изключване на електропровода.

За да се предотврати това, Електро-снабдителните компании използват единични дистанционни елементи, за да поддържат фазовите проводници на стандартното разстояние според диапазона на напрежението. Представяват единичен изолационен елемент с ребра или без с дължина съобраземща с разстояния между фазите на линията.

6.2.1. Единични дистанционери

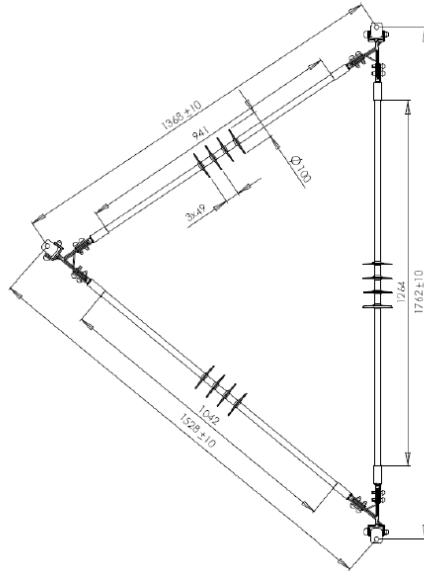


Фиг. 2.27 Ребристи единични дистанционери 20 кВ



Фиг. 2.29 Гладки единични дистанционери 20 кВ

6.2.2. Трифазен триъгълен дистанционер



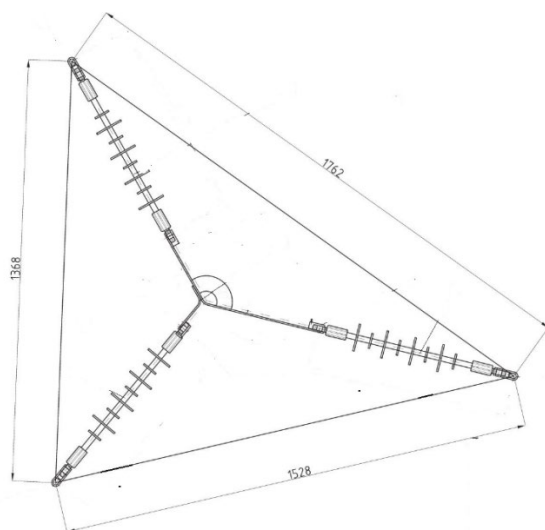
Фиг.2.30 Триъгълен дистанционер 20 кV

Недостатъци на триъгълния дистанционер:

- Формата на електропровода с триъгълно разположение на фазите е триъгълник с три различни дължини на страничните силиконови изолатори.
- Поради разликите в дължините на изолатора е необходимо да се използват три различни връзки между изолатори и проводници;
- Дължината на всеки изолатор е повече от 1 m, което означава маса от около 1,5-2 kg
- Това би довело до пълно объркване по време на инсталацията;
- Времето за инсталиране само за един дистанционер е около час, което означава, че само 8 дистанционера могат да бъдат монтирани през работния ден.
- За монтаж са необходими двама работника.
- Изолационните елементи не са стандартизирани, което означава скъпо.

6.2.3. Трифазен звездовиден дистанционер.

За избягването на тези недостатъци съм разработил нова форма на трифазен дистанционер с форма на звезда, като се използват три стандартни изолатора и само един съединителен елемент.



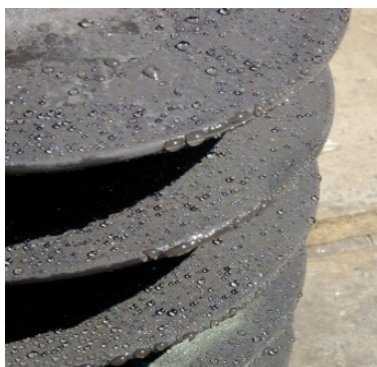
Фиг. 2.31 Трифазен звездовиден дистанционер

Предимства на внедряването на звездовидния трифазен дистанционер във ВЕЛ:

- Използват се на стандартни силиконови изолатори, което повишава ефективността на дистанционера и улеснява монтажа;
- Наличие само на един съединителен елемент само помага на персонала да съкрати времето за монтаж до 15 минути на дистанционер (4 пъти по-малко в сравнение с триъгълния).

На базата на тези изследвания съм получил Удостоверение за Полезен Модел №3102 U1.

7. ИКОНОМИЯ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЯ – актуални аспекти за използване на силиконовите изолатори



Тока на утечката по повърхността на изолаторите се явяват една от съставлящите на технологичните загуби на електроенергия.

Икономия на енергия при използването на силиконовите изолатори се достига за сметка на малките токове на утечка по повърхността на хидрофобната замърсена и мокра повърхност на изолатора.

На фотографията е показан изолатор, който се експлоатира в силно замърсена среда в продължение на 7 години. Клас на хидрофобност 1 и 2 – като на нов изолатор

7.1. Видове изолатори в замърсен вид

Тип на изолатора	Материал на изолацията	Година на производство	Визуална характеристика на замърсяването	Специфична повърхностна проводимост χ , мкСм
ПСД 70 Е	стъкло	2004	Средно мръсен	0,64
ПС 120 Б	стъкло	1989	Средно мръсен	0,72
ПСД 70 Е	стъкло	1985	Средно мръсен	2,9
ПФ 70-Д	порцелан	1988	Слабо замърсен	0,84
ПФ 6-Б (П-4,5)	порцелан	1964	Средно мръсен	1,08
Верига от 3 изолатора ПФ 70-А	порцелан	1990	Средно мръсен	1,61
ИФС-27,5	порцелан	1974	Много замърсен	0,88
VKL 60/7	порцелан	1983	Слабо замърсен	1,44
ФСПКр 120-25/1,1	силикон	2001	Много замърсен	0,05
ЛК 70/110	силикон	2001	Средно мръсен	0,07

Резултатите от изпитанията показват, че средната повърхностна проводимост в замърсени и мокри състояния на стъклените и керамичните изолатори е 1,26 мкСм, а на силиконовите - 0,06 мкСм, т.е. примерно 20 пъти по-малко

7.2. Резултати от следексплоатационните изпитания

Материал на изолацията	Средна проводимост на естествения слой на замърсения изолатор в мокро състояние, $\mu S/m$
Стъкло	1,42
Порцелан	1,17
силиконов	0,06

Резултатите от изпитанията показват, че в замърсено и мокро състояние специфичната повърхностна проводимост на стъклените и порцелановите изолатори е почти еднаква, а при силиконовите изолатори почти 20 пъти по-малка

Изчисляване загубата на енергия за сметка на токовете на утечката по повърхността на изолатора

Формулата за изчисляване загубата на мощност в 1 гирлянда за сметка на тока на утечката по повърхността на изолатора U където:

$$P = \frac{U^2}{n \cdot R} = \frac{U^2}{n \cdot k \cdot \rho} = \frac{U^2 \cdot \chi}{n \cdot k}$$

U - фазно напрежение,

R – Повърхностно съпротивление на един изолатор в гирляндата

ρ – специфично повърхностно съпротивление на замърсения слой на изолатора,

χ – Специфична повърхностна проводимост на замърсения слой

k – коефициент на формата на един изолатор в гирляндата

n – брой на изолаторите в гирляндата

Загубите на енергия за една година в 1 гирлянда се изчислява като произведение на загубите на мощност и количеството влажни дни през годината.

В съответствие със средните показатели, броя на влажните дни е **10%** или **876** часа за година

7.3. Резултати от разчетите за загуба на електроенергия

Тип на изолятора	Материал на изолацията	Коефици-ент на формата на изолятора (изолаторна верига)	Повърхностна проводимост μSm	Номинално Напрежение, кВ	Приблизителни загуби на електроенергия за година на 1 изолатор във веригата kWh
4 х ПС 70Е	Стъкло	3,36	1,26	27,5	248
ПСПКр 70-25/1,1	Силикон	9,0	0,06	27,5	4,5
VKL 60/7	Порцелан	3,0	1,26	27,5	317
ФСПКр 120-25/0,95	Силикон	5,6	0,06	27,5	8,1

Разчетите показват, че в мрежите за високо напрежение, загубата на енергия при замърсените стъклени и порцеланови изолатори, поради големия ток на утечката е от порядъка на 300 kWh/год на 1 порцеланов изолатор или верига стъклени изолатори, което в паричен еквивалент е от порядъка на 1000 (50 лв) руб/г.

Загубите на енергия в силиконовите изолатори е почти **40 ÷ 50 пъти по-ниски**.

7.4. Ориентировъчен разчет на загубата на енергия по повърхността на замърсени изолатори за ВЕП 35 – 110 kV в ОАО «МРСК ЦЕНТЪР»

Номинално напрежение	Загуби в 1 стъклен изолатор кВтч	Загуби за 1 изолаторна верига на ден кВтЧ	Загуби за 1 изолаторна верига за година кВтч	Примерни загуби за ВЕП в МРСК Център, МВтч
35 кВ	0,1	0,4	146	57
110 кВ	0,24	1,92	700,8	284
ВСИЧКО				341

Разчетите са проведени за ниско ниво на замърсяване – проводимостта на слоя замърсяване е 1 μSm . Те показват, че срока за изкупуване на силиконовите изолатори, за сметка на икономииите които се правят са:

- За електропроводи 35 кВ около 3 години
- За електропроводи 110 кВ – 1 г
- За електропроводи 150 кВ – по-малко от година.

8. Анализ на резултатите

Използването на композитните изолятори е дава възможност за повишаване изолационната якост на електропроводите и подстанции. Замяната на веригите с висящи стъклени изолятори като първа стъпка и след това с по-иновативните изолационни конзоли или стоящи изолятори за средното напрежение, дава възможност за здраво закрепване на проводника към стълба.

Предимствата;

- Избягване люлеенето на проводниците и при страничен вятър;
- Ефекта «игра» на проводника при топене на обледяването е намален от липсата на шарнирни съединения;
- Възможност за по-голямото натягане на проводника. Това от своя страна позволява да се увеличат междустълбията.
- Използването на композитни междуфазни изолятори (дистанционери), като виртуални стълбове в междустълбието дава още по-голяма сигурност и същевременно икономии на финансов ресурс;
- Използването на стоящите изолятори дава възможност да се намали височината на стълбовете и да се намали разстоянието между фазите. Това са част от предпоставките за превръщане на конвенционалните електропроводи в компактни.
- Полезния модел на трифазен дистанционер дава възможност на разпределителните предприятия да намалят до минимум времето за монтажа им, като в същото време се увеличава междустълбието.

Използването на композитни изолятори е доказало в експлоатация предимствата си поради това енергетиките на Великобритания, САЩ, Русия др. подменят веригите със стъклени изолятори със силиконови.

Литература:

1. Материали от инж. Христос Захаридис, Университет Манчестер, Великобритания
2. <https://www.electricaleasy.com/2016/11/electrical-insulators.html>;
3. <https://www.zarebasystems.com/articles/ceramic-vs-porcelain-insulators>
4. НПО Изолятор, Снакт Петербург, Русия
5. Архив на Ханджиев ЕООД