

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕРМОПЛАСТОВ

По своей природе ненаполненные пластики обладают электроизоляционными свойствами. С введением специальных добавок полимеры могут приобретать свойства проводника электрического тока, быть антистатиками или статически диссипативными.

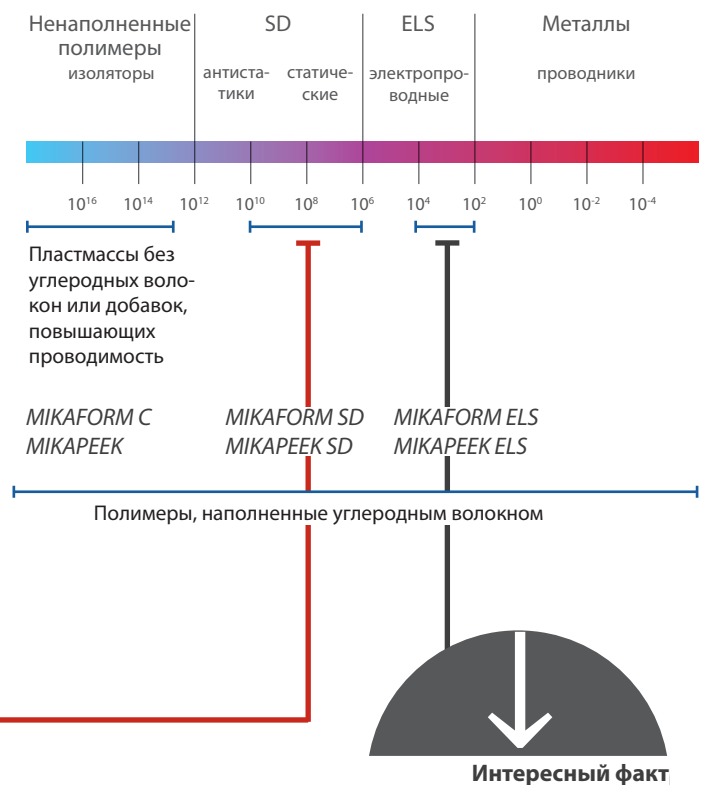
→ **Электроизоляторы (диэлектрики)** предотвращают или ограничивают поток электронов по их поверхности или через их объем. Удельное электрическое сопротивление выше, чем  $10^{11}$ - $10^{12}$  Ом.

→ **Антистатиками или статически диссипативные (рассеивающие)** материалы позволяют передавать заряд на землю или другие проводящие объекты. Значение электрического сопротивления находится между изоляционными и проводящими материалами ( $10^{11}$ - $10^6$  Ом)

→ **Полупроводники и проводники** позволяют электронам легко проходить по их поверхности или через их объем. Материалы имеют низкое электрическое сопротивление (ниже, чем  $10^6$  Ом)

### Диапазон проводимости

### Поверхностное сопротивление (Ом)



#### Интересный факт

Непроводящие (электроизоляционные) материалы могут иметь электростатический заряд. Заряд создается трением, а уровень заряда зависит от вида пластмассового материала и трущегося компонента.

Электростатические заряды могут притягивать пыль из воздуха и вызывать искрение, что создает опасность при контакте полимерного изделия с горючими или взрывоопасными веществами, при транспортировке сыпучих материалов (к примеру, на конвейерах, в транспортных трубопроводах и т.п.).

Поверхностное сопротивление свыше  $10^{14}$  Ом указывает на высокую предрасположенность к образованию электростатических зарядов. Материалы с сопротивлением от  $10^9$  до  $10^{11}$  Ом характеризуются низкой полярностью.

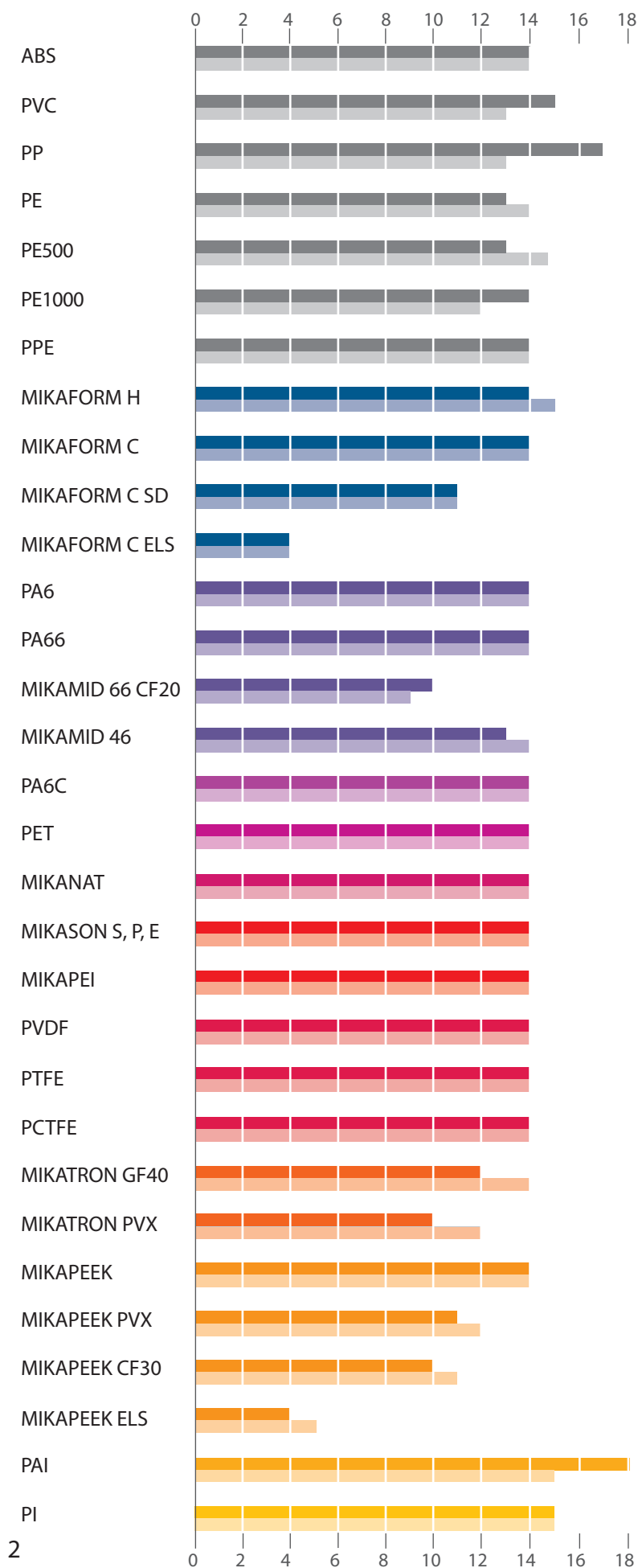
Материалы с сопротивлением  $10^9$  и меньше уже не будут электростатически заряженными. Следовательно, риски образования электростатического разряда отсутствуют.

#### Интересный факт

В большинстве проводящих термопластов содержатся проводящие сажевые добавки. Электрические свойства определяются количеством добавки и ее электропроводящими характеристиками. Когда содержание наполнителя превышает определенный уровень, проводимость материала резко возрастает из-за образования сетки проводящих наполнителей (порог перколяции).

Электрическое сопротивление материалов, наполненных углеродным волокном, может быть различным вдоль и поперек направления волокон.

# ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

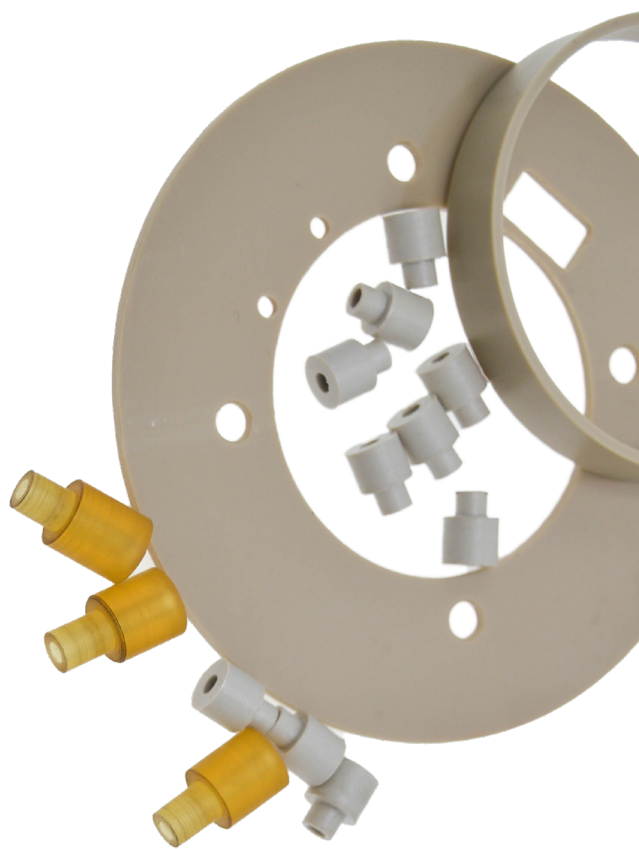


## Сопротивление

Электроизоляционные свойства материала характеризуются его сопротивлением прохождению электрического тока

→ **Объемное удельное электрическое сопротивление** учитывается только тот ток, который протекает через образец, исключая ток, протекающий по поверхности

→ **Поверхностное удельное сопротивление** измеряется между электродами на поверхности образца



**MIKARPEEK натуральный**  
**MIKARPEI натуральный**  
Изоляторы

← Электрическое сопротивление [Ω]

■ Удельное поверхностное сопротивление [Ω]

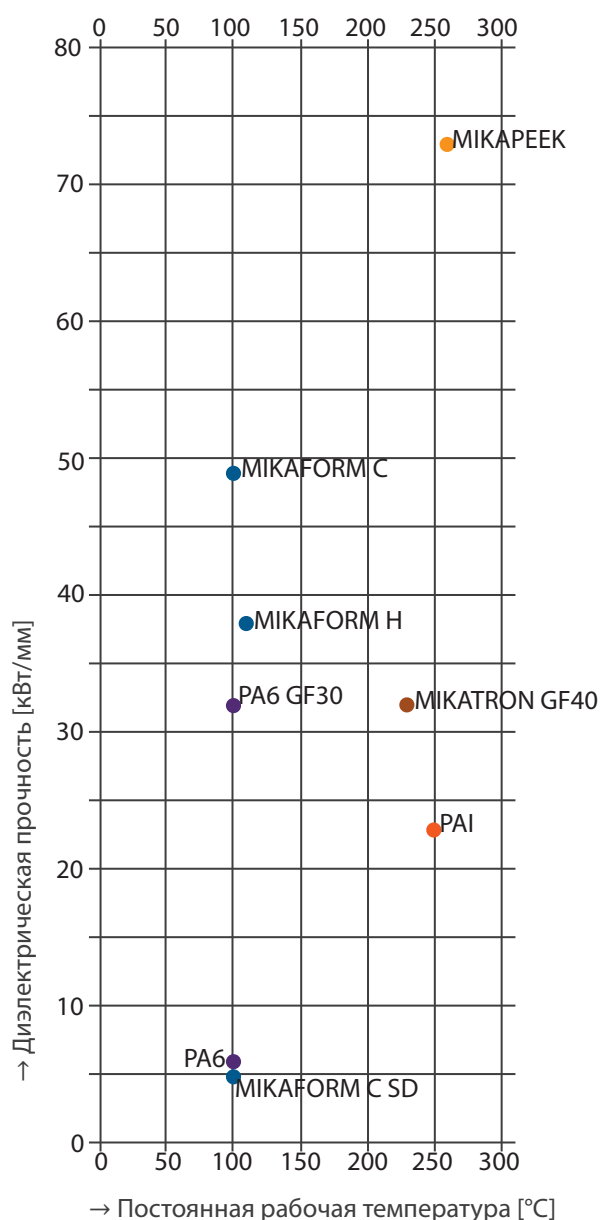
■ Удельное объемное сопротивление [Ω\*см]

## СТОЙКОСТЬ К ПРОБОЮ

### Диэлектрическая прочность

Диэлектрическая прочность (или сопротивление электрическому пробую) - отношение напряжения при котором происходит пробой к расстоянию между электродами (т.е. к толщине образца). Измеряется в кВт/мм. Показатель в значительной мере зависит от формы образца и толщины электрода, поэтому не является постоянным. Сопоставить показатели, полученные по различным методологиям или в различных условиях испытаний, не корректно. Диэлектрическая прочность зависит так же от температуры и частоты.

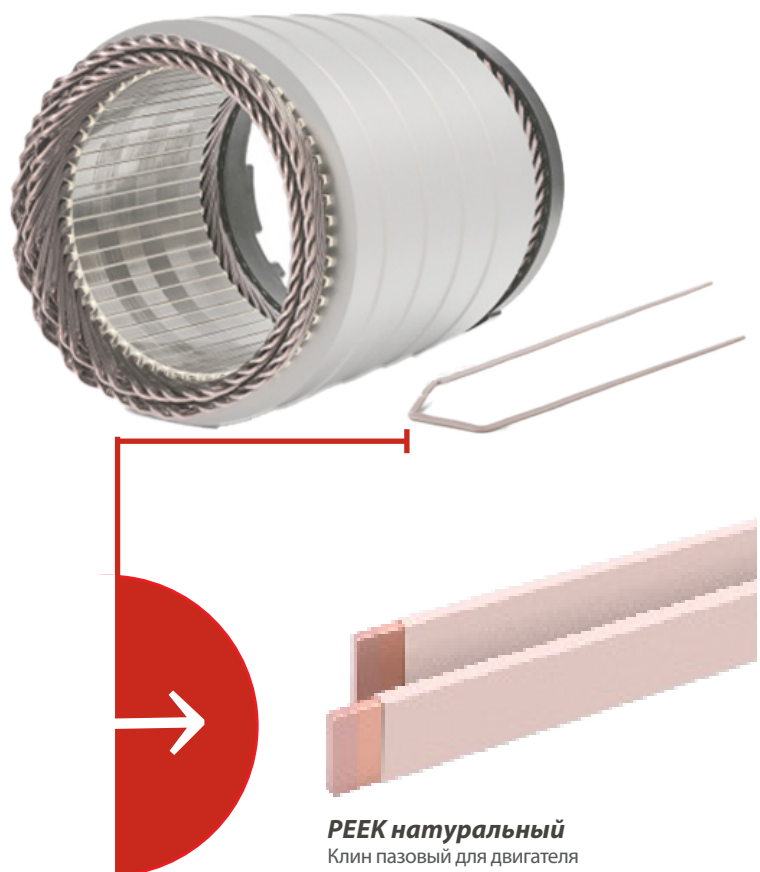
### Диэлектрическая прочность [кВт/мм]



### Стойкость к пробую

Подверженность материала к образованию токов утечки определяется при помощи низковольтного теста (до 600 В, стандарт IEC 60112). Показатель стойкости к пробую (СТИ) указывает на максимальное напряжение, которое может выдержать материал без утечки тока после 50 капель опатного раствора, который капает между электродами, находящимися на расстоянии 4мм от испытываемой поверхности материала. Если образец выдерживает напряжение 425 В, то показатель стойкости к пробую обозначают как СТИ 425.

Изоляционные материалы, которые предполагают использование в условиях высокого напряжения или вне помещений, испытывают на основании стандарта IEC 60587 при воздействии высокого напряжения. Согласно самому распространенному методу А, изоляционные материалы классифицируют по трем классам. Три уровня напряжения (2,5; 3,5 и 4,5кВ) прилагаются к образцу в определенных условиях испытаний на протяжении 6 ч. В зависимости от уровня выдерживаемого напряжения материал классифицируется (к примеру, класс 3,5А).



## ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

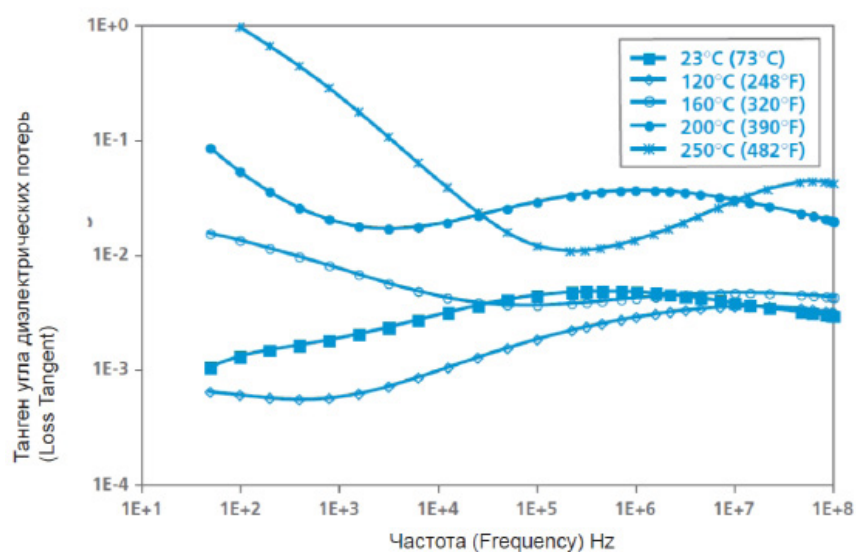
При использовании пластмасс в конденсаторах или в высокочастотных устройствах требуется учесть диэлектрическую постоянную и коэффициент диэлектрических потерь..

→ **Диэлектрическая постоянная** пластмассового изделия указывает на увеличению емкости конденсатора с пластмассой, когда диэлектрик сравнивается с емкостью того же самого конденсатора с воздухом в качестве диэлектрика.

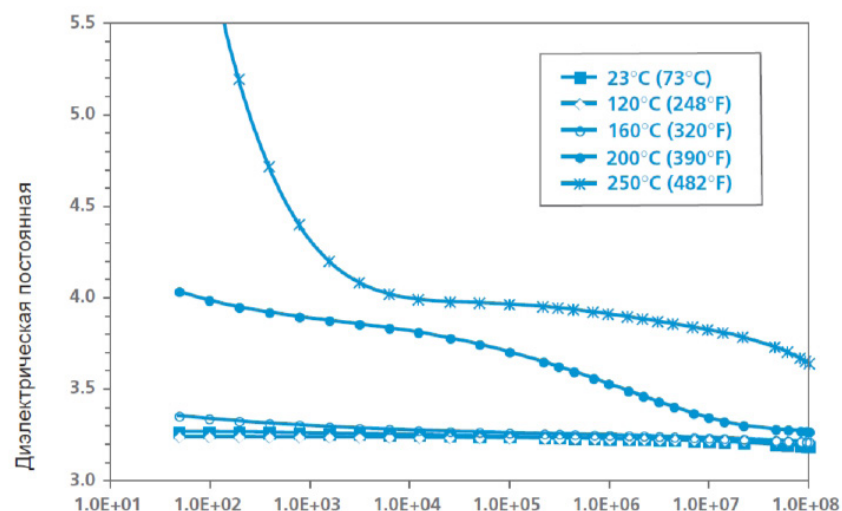
→ **Коэффициент диэлектрических потерь** представляет собой величину энергии, которая преобразуется в теплоту в изоляторе в переменном электрическом поле. Это важная характеристика материала для описания нагрева полимерного материала в электрическом поле.

На оба значения влияют температура и частота, поэтому указываются в обязательном порядке.

Тангенс угла диэлектрических потерь PEEK 450G при температурах от 23°C до 250°C в диапазоне частот от 50 Гц до 100 МГц, IEC 250



Относительная диэлектрическая проницаемость PEEK 450G при температурах от 23°C до 250°C в диапазоне частот от 50 Гц до 100 МГц, IEC 250



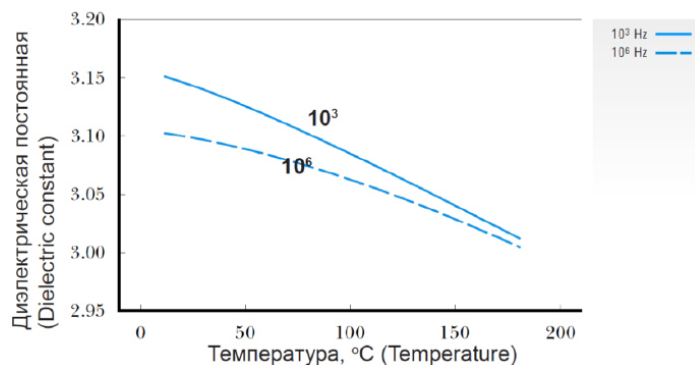
Из данных графика видно, что PEEK 450G демонстрирует отличные электрические характеристики. Хотя многие электрические свойства материала описываются как типичные для термопластичных материалов, PEEK 450G сохраняет эти превосходные изоляционные свойства в широком диапазоне температур и частот.



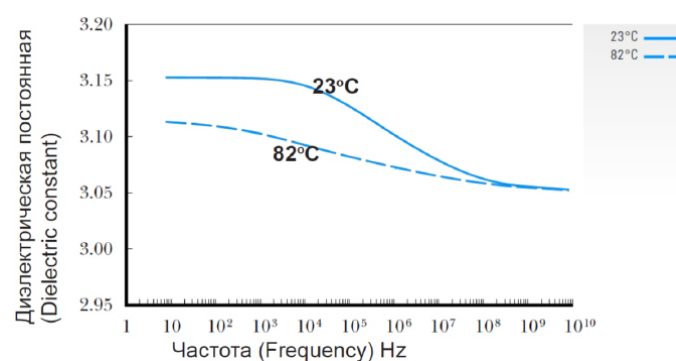
**MIKARPEEK натуральный**  
Электроизоляторы



Относительная диэлектрическая проницаемость PEI в диапазоне температур от 0 до 250°C при частоте 10<sup>3</sup> и 10<sup>6</sup> Гц, IEC 60250

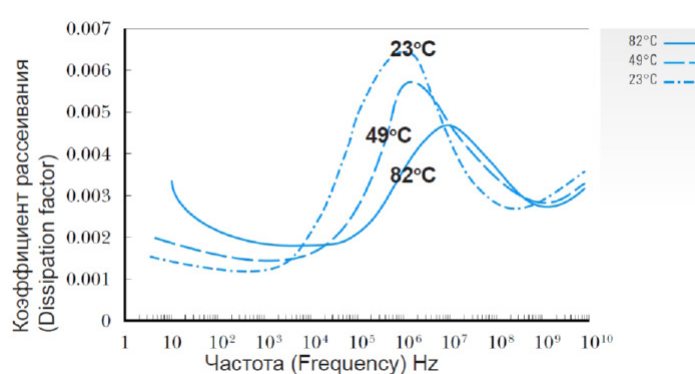


Относительная диэлектрическая проницаемость PEI в диапазоне частот 1-10<sup>10</sup> Гц при температурах 23°C и 82°C и относительной влажности 50%, IEC 60250

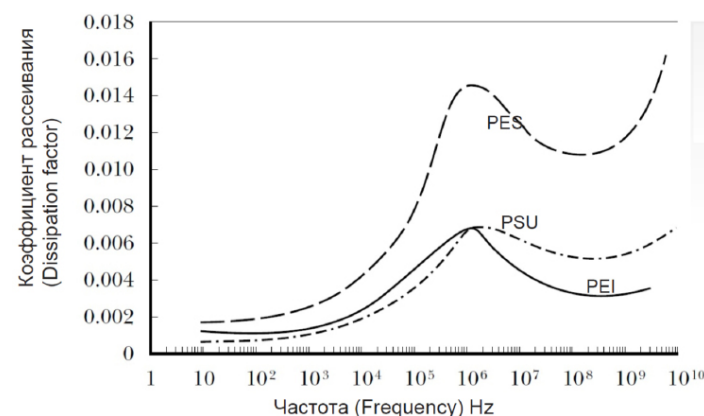


Из данных графиков видно, что значения относительной диэлектрической проницаемости остаются стабильными в широком диапазоне температур и частот, условий окружающей среды. Эта стабильность, вместе с выдающимися температурными и механическими свойствами, делают PEI идеальными материалами для электрических и электронных применений.

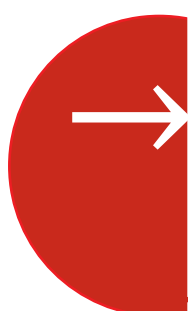
Коэффициент рассеивания PEI в диапазоне частот 1-10<sup>10</sup> Гц при температурах 23°C, 49°C и 82°C и относительной влажности 50%, IEC 60250



Коэффициент рассеивания PEI, PES, PSU в диапазоне частот 1-10<sup>10</sup> Гц при температуре 23°C и относительной влажности 50%, IEC 60250



Из данных графиков видно, что PEI обладает исключительно низким коэффициентом рассеивания в широком диапазоне частот, особенно в килогерцовом (10<sup>3</sup> Гц) и гигагерцовом (10<sup>9</sup> Гц) диапазонах. Кроме того свойства остаются достаточно стабильными в широком диапазоне температур. Такие свойства имеют первостепенное значение в таких применениях, как компьютерные микросхемы и микроволновые компоненты.



### Интересный факт

Пластмассовые материалы с высоким коэффициентом диэлектрических потерь могут нагреваться в переменном электрическом поле



**МИКАРЕЕК натуральный**  
Электроизоляторы

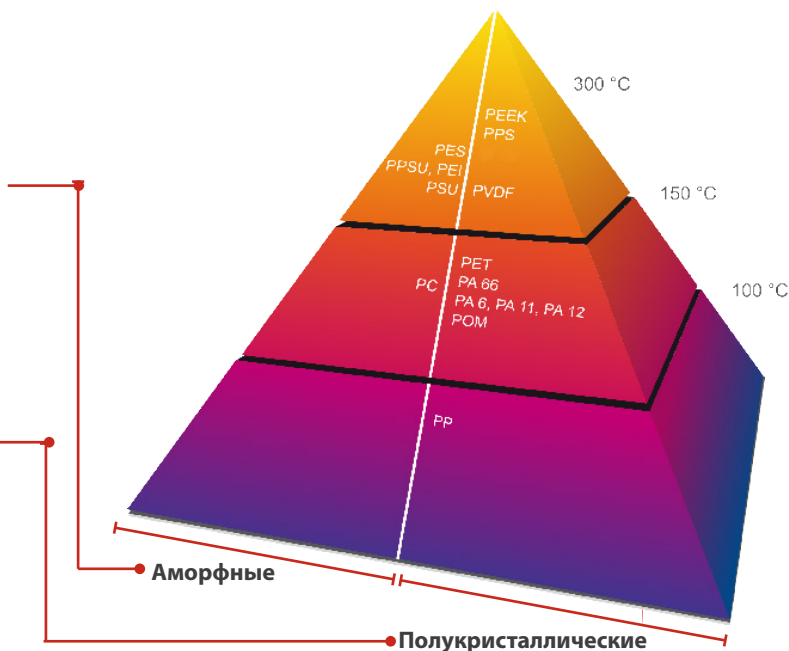
# Влияния на электрические свойства

## Воздействие высоких температур

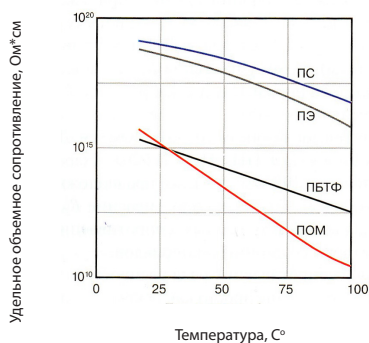
С ростом температуры эксплуатации диэлектрические свойства полимеров снижаются.

→ **Аморфные пластики** с ростом температуры воздействия демонстрируют лучшую стабильность диэлектрических характеристики в сравнении с полукристаллическими полимерами. Термостойкие аморфные полимеры способны сохранять превосходные электроизоляционные свойства вплоть до температуры стеклования.

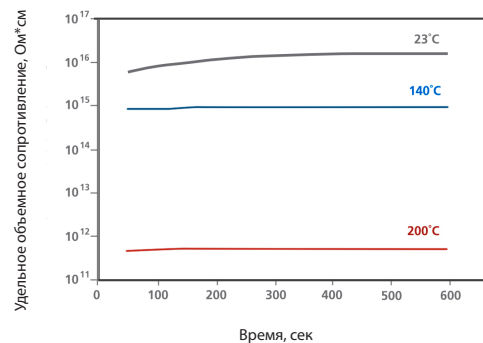
→ **Полукристаллическим пластикам** свойственно снижение электроизоляционных свойств с ростом температуры эксплуатации. Как правило, до температуры стеклования свойства остаются достаточно высокими в сравнении с первоначальными (при 23°C) и резко снижаются при переходе через точку стеклования.



Удельное объемное сопротивление в зависимости от температуры



Удельное объемное сопротивление в зависимости от температуры для PEEK



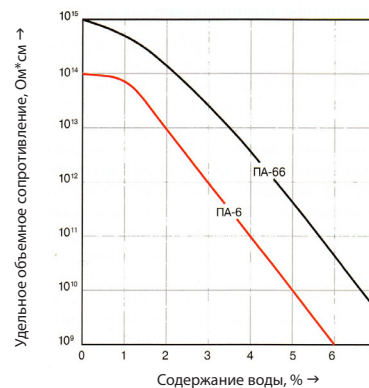
### Интересный факт

Для POM характерно менее выраженное снижение сопротивления в сравнении с неполярными пластмассами, к примеру PE или PS (вставить график)

## Воздействие влаги

Пластики, обладающие высоким влагопоглощением демонстрируют снижение электроизоляционных свойств по мере напитывания влагой.

Полиамиды PA46, PA66, PA 6 и в меньшей степени PA12 способны поглощать влагу из воздуха, что влияет на их механические и диэлектрические свойства.



# ОСНОВНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

	Удельное объемное сопротивление, IEC 60093, Ом*см	Удельное поверхностное сопротивление, IEC 60093, Ом	Диэлектрическая постоянная, IEC 60250		Коэффициент диэлектрических потерь, IEC 60250, tg		Диэлектрическая прочность, IEC 60243-2, кВ/см	Диэлектрическая прочность, DIN EN 60093, кВ/мм	Сравнительный показатель стойкости к пробою, IEC 60112		
			50 Гц	10 <sup>6</sup> Гц	50 Гц	10 <sup>6</sup> Гц			КА	КВ	КС
PE-HD	>10 <sup>17</sup>	10 <sup>14</sup>	2,35	<b>2,34</b>	2,4*10 <sup>-4</sup>	<b>2,0*10<sup>-4</sup></b>	-	>50	<b>3c</b>	>600	>600
PE-HMW	10 <sup>15</sup>	10 <sup>13</sup>		2,9		0,0004		50			>600
PE-UHMW	10 <sup>14</sup>	10 <sup>12</sup>		3,0				45	3c	>600	>600
PP	>10 <sup>17</sup>	<b>10<sup>13</sup></b>	2,27	<b>2,25</b>	<4*10 <sup>-4</sup>	<5*10 <sup>-4</sup>	500-650	>40	<b>3c</b>	>600	>600
PMP	>10 <sup>16</sup>	<b>10<sup>13</sup></b>	2,12	<b>2,12</b>	7*10 <sup>-5</sup>	3*10 <sup>-5</sup>	700	65	<b>3c</b>	<b>&gt;600</b>	<b>&gt;600</b>
PS	>10 <sup>16</sup>	>10 <sup>13</sup>	2,5	2,5	1-4*10 <sup>-4</sup>	0,54*10 <sup>-4</sup>	300-700		1-2	140	150-
ABS	<b>&gt;10<sup>15</sup></b>	<b>&gt;10<sup>13</sup></b>	2,4-5	<b>2,4-3,8</b>	3-8*10 <sup>-3</sup>	<b>2-15*10<sup>-3</sup></b>	350-500	22	3a	>600	>600
PVC-U	>10 <sup>15</sup>	10 <sup>13</sup>	3,5	3,0	0,011	0,015	350-500		2-3b	600	600
PVC-P	>10 <sup>11</sup>	10 <sup>11</sup>	4,8	4-4,5	0,08	0,12	300-400		-	-	-
PTFE	>10 <sup>18</sup>	10 <sup>17</sup>	<2,1	<b>&lt;2,1</b>	<2*10 <sup>-4</sup>	<b>&lt;2*10<sup>-4</sup></b>	480	48	<b>3c</b>	<b>&gt;600</b>	>600
PVDF	10 <sup>14</sup>	10 <sup>13</sup>		8,0		0,06		10-60	1		
PCTFE	>10 <sup>18</sup>	10 <sup>16</sup>	2,3-2,8	2,3-2,5	1*10 <sup>-3</sup>	2*10 <sup>-2</sup>	550		3c	>600	>600
PMMA	>10 <sup>15</sup>	>10 <sup>15</sup>	3,3-3,9	2,2-3,2	0,004-0,04	0,004-0,04	400-500		2c	>600	>600
POM-H	>10 <sup>15</sup>	>10 <sup>13</sup>	3,7	<b>3,7</b>	0,005	<b>0,005</b>	380-500	>50	3b	>600	>600
POM-C	10 <sup>14</sup>	10 <sup>14</sup>		3,5		0,003		>50	3c		
POM-C ELS	10 <sup>2</sup> -10 <sup>4</sup>	10 <sup>2</sup> -10 <sup>4</sup>									
POM-C SD	10 <sup>9</sup> -10 <sup>11</sup>	10 <sup>9</sup> -10 <sup>11</sup>									
PA6	10 <sup>12</sup>	10 <sup>10</sup>	3,8	<b>3,4</b>	0,01	<b>0,03</b>	400	20-50	3b	>600	>600
PA66	10 <sup>12</sup>	10 <sup>10</sup>	8,0	<b>4,0</b>	0,14	0,08	600		3b	>600	>600
PA66 GF30	8*10 <sup>13</sup>	6*10 <sup>13</sup>									
PA66 CF30	10 <sup>2</sup> -10 <sup>4</sup>	10 <sup>2</sup> -10 <sup>4</sup>									
PA11	10 <sup>13</sup>	10 <sup>11</sup>	3,7	<b>3,5</b>	0,06	<b>0,04</b>	425	40	3b	>600	<b>&gt;600</b>
PA12	10 <sup>13</sup>	10 <sup>11</sup>	4,2	<b>3,1</b>	0,04	<b>0,03</b>	450	24-30	3b	>600	<b>&gt;600</b>
PA46	<b>&gt;10<sup>15</sup></b>	10 <sup>13</sup>	4,0	3,8	-	-	-	>20	-	-	>425
PC	>10 <sup>17</sup>	<b>&gt;10<sup>15</sup></b>	3,0	<b>2,9</b>	7*10 <sup>-4</sup>	1*10 <sup>-2</sup>	380	27	1	120	260
PC GF30	10 <sup>16</sup>	10 <sup>14</sup>		3,3		0,009		30			
PET	10 <sup>16</sup>	10 <sup>16</sup>	4,0	4,0	2*10 <sup>-3</sup>	2*10 <sup>-2</sup>	420	60	2	160	300
PSU	>10 <sup>16</sup>	10 <sup>14</sup>	3,1	<b>3,0</b>	8*10 <sup>-4</sup>	3*10 <sup>-3</sup>	425	42	1	175	175
PPS	>10 <sup>16</sup>	-	3,1	3,2	4*10 <sup>-4</sup>	7*10 <sup>-4</sup>	595		-	-	-
PPS GF40	10 <sup>13</sup>	10 <sup>15</sup>		4,0		0,004		20			175
PPSU	10 <sup>15</sup>	10 <sup>13</sup>		3,45				15			
PES	10 <sup>17</sup>	10 <sup>14</sup>	3,5	<b>3,5</b>	1*10 <sup>-3</sup>	6*10 <sup>-3</sup>	400	40	-	-	-
PAI	10 <sup>17</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PEI	10 <sup>18</sup>	-	-	3,15	-	0,001		33			
PEI GF30	10 <sup>15</sup>	10 <sup>15</sup>		3,7		0,007		30			
PI	<b>&gt;10<sup>16</sup></b>	<b>&gt;10<sup>15</sup></b>	-	3,1	-	0,003	-	20	1	>300	>380
PEEK	5*10 <sup>16</sup>	10 <sup>15</sup>	-	3,2-3,3	-	<b>3*10<sup>-3</sup></b>	-	20	-	-	-
PEEK GF30	10 <sup>15</sup>	10 <sup>15</sup>		3,4-3,5*		0,004		24,5			
PEEK CF30	10 <sup>3</sup> -10 <sup>12</sup>	10 <sup>3</sup> -10 <sup>12</sup>									
PEEK ELS	10 <sup>3</sup> -10 <sup>5</sup>	10 <sup>2</sup> -10 <sup>4</sup>									

## Примечание

Данные взяты от производителей сырьевых материалов, открытых справочных источников. Потребитель несет полную ответственность за выбор материала и тестирование перед утверждением материала к эксплуатации. Фактические показатели поставляемых материалов могут быть отличными.

Курсивом указаны данные, полученные из открытых источников, в том числе <https://matweb.com>. Обычным шрифтом указаны данные справочника «Настольная книга переработчика пластмасс» Эрвин Браун, Тим А.Оссвальд, Натали Рудольф.