

### ДИНАМИКА ЧАСТОТНО - ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗОЛЯЦИОННЫХ ПРОМЕЖУТКОВ ТЕЛЕФОННЫХ КАБЕЛЕЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Виконані вимірювання показують, що в більшій мірі спостерігається дрейф тангенса кута діелектричних втрат зразків кабелів, як без заповнення, так і із заповненням серцевини гідрофобними матеріалами. При цьому для часткових місткостей властива позитивна кореляція, а для  $\text{tg}\delta$  не спостерігається взаємозв'язок між результатами вимірювань. Це може бути пов'язано з особливостями коротких зразків телефонних кабелів пучкового скручування.

The executed measurement show that in the greater measure drift of a tangent of a corner of dielectric losses of samples of cables, both without filling, and with filling with waterproof materials is observed. Thus for partial capacities positive correlation is inherent, and for dielectric losses there is no correlation between results of measurements It can be connected to features of a short samples of telephone cables.

**Существующие конструкции** кабелей имеют в сердечнике значительный свободный объём. При определённых условиях в процессе изготовления кабелей, строительства и эксплуатации линий в этом объёме может накапливаться и распространяться проникающая в кабель влага и её пары. Возможны два пути проникновения влаги внутрь кабеля:

1. диффузия паров влаги через пластмассовую оболочку из окружающей среды;
2. повреждение оболочки кабеля либо муфты, а также отсутствие герметизации концов кабеля в оконечных устройствах.

Влага, попадающая в кабель в местах повреждения, распространяется в сердечник на значительные расстояния и может снизить сопротивление изоляции или вызвать короткое замыкание между жилами. Кроме этого увеличивается рабочая ёмкость цепи и, следовательно, ухудшаются параметры передачи и влияния между цепями. Для многопарных телефонных кабелей, имеющих большой свободный объём и, как правило, тонкую изоляцию жил, изменение электрических характеристик из-за проникновения влаги в сердечник может быть весьма значительным: электрическая ёмкость пар увеличивается на 20 %, коэффициент затухания на 5 % в диапазоне звуковых частот [1-3].

**В настоящее время принято считать**, что наиболее простым и эффективным решением проблемы продольной влагозащиты кабелей является заполнение сердечника гидрофобными пастообразными компаундами на основе высокомолекулярных соединений углеводородов. Эти вещества обладают водоотталкивающими (гидрофобными) свойствами. Благодаря пластичности таких наполнителей введение их в сердечник осуществляется как на технологической стадии скрутки кабельного

сердечника, так и в эксплуатации (так называемая технология «реанимации (восстановления) замоченных кабелей»). Гидрофобный наполнитель по электрическим и диэлектрическим параметрам должен полностью соответствовать полимерным материалам, применяемым при производстве кабелей. Кроме того, наполнитель должен обладать необходимой текучестью; не изменять физико-механических свойств в зависимости от прикладываемого к кабелю давления; не вытекать из кабеля в диапазоне рабочих температур; обладать адгезией к полиэтилену и препятствовать продольному распространению влаги в кабеле; не быть токсичным и взрывоопасным; не содержать летучих фракций, образующих на медных жилах в местах сращивания в муфтах пленки, увеличивающих их контактное сопротивление. Комплекс физико-химических и электрических характеристик должен обеспечивать полную герметизацию сердечника и совместимость с элементами конструкции кабеля (таблица 1- 2).

Таблица 1- Основные технические характеристики высококачественных гидрофобных наполнителей Neptel фирмы BPLC (Франция)

Параметр	Марка гидрофобного наполнителя			
	827	867	851	842
Температура каплепадения, °C	70	90	90	80
Вязкость при 120 °C, сСт	75 - 100	100 - 150	75 - 90	175 - 225
$\text{tg}\delta$ , % при 23 °C	0,01	0,01	0,01	0,01
$\epsilon$	2,3	2,3	2,3	2,3

**Цель статьи** - динамика частотно-временных характеристик изоляционных промежутков незаполненных и заполненных гидрофобным желе образцов телефонных кабелей по результатам прямых измерений емкости и тангенса угла диэлектрических потерь.

«Заметить» влагу и ее пары внутри сердечника кабеля можно по результатам измерений ряда электрических параметров: сопротивления изоляции, емкости. Измерение сопротивления изоляции выполняют на постоянном токе, время приложения напряжения составляет не менее 1 минуты. Величина испытательного напряжения в зависимости от конструкции, назначения кабеля и его длины может достигать 5 кВ (таблица 3). При этом методика измерений предполагает, что измеряется сопротивление каждой жилы относительно всех остальных, соединённых с металлическими экраном, оболочками и заземлёнными. Так как в качестве электрической изоляции в кабелях применяется полиэтилен – высококачественный изоляционный материал, то заметить изменение в сопротивлении изоляции в области нормальных температур достаточно сложно, особенно на коротких образцах. Поэтому измерения необходимо

проводить также и при повышенных температурах. Это усложняет процедуру измерений, т.к. требуется применение термощафа с соответствующей системой контроля над температурой, в частности термомары.

Таблица 2 - Электрические параметры незаполненных и заполненных гидрофобным желе телефонных кабелей типа ТПП при  $t=20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Характеристика	Частота, кГц	Норма
Электрическое сопротивление токопроводящих жил на 1 км, Ом, диаметром, мм: 0,4 0,5 0,7	Постоянный ток	$139 \pm 9$ $90 \pm 6$ $45 \pm 3$
Электрическое сопротивление изоляции жил на 1 км (не менее), Мом -кабель без гидрофобного заполнения -кабель с гидрофобным заполнением		6000 5000
Рабочая ёмкость на 1км (не более), нФ: -кабель без гидрофобного заполнения -кабель с гидрофобным заполнением	0,8	$45 \pm 5$ $50 \pm 5$
Испытательное напряжение (в течение 2 мин), В между: жилами рабочих пар жилами и экраном	0,5	1000 500

Таблица 3 - Параметры тераомметров

Тип прибора	Диапазон измерения сопротивлений, Ом	Погрешность измерений, %	Напряжение при измерениях, В
ЕК6-11	$3 \cdot 10^7 - 10^{15}$	6 – 10	2,5 – 500
ЕК6-7	$10^7 - 10^{17}$	4 – 10	1 – 1000

Появление нового поколения цифровых приборов дает возможность проведения диэлектрической спектроскопии на переменном напряжении разной частоты. Уровни измерительного напряжения не превышают 10 В, что является безопасным, как для обслуживающего персонала, так и для изоляции (таблица 3). При этом длина образцов кабелей может составлять от 1 до сотен метров. При проведении измерений на работающих линиях их необходимо отключать во избежание повреждения прибора (см. таблицу 4).

Таблица 4 - Технические характеристики измерителей сопротивления, индуктивности и емкости RLC фирмы *Wayne Kerr Electronics*

Характеристики	Параметры	Значения
Измерение RLC	Сопротивление	0,1 мОм – 100 МОм
	Ёмкость	0,001 пФ – 1Ф
	Индуктивность	0,1 нГн – 100 кГн
	Добротность	0,01 – 1000
	Тангенс угла потерь	0,00001 – 1000
	Комплексное сопротивление	0,01 мОм – 1 ГОм
	Фазовый сдвиг	-179...180
Тест- сигнал	Базовая погрешность измерения	$\pm 0,2\%$
	Частота тест сигнала	20 Гц – 100 кГц для 4234 20 Гц – 200 кГц для 4235 20 Гц – 500 кГц для 4236 20 Гц – 1 МГц для 4237
	Разрядность установки	5 разрядов
	Уровень тест сигнала	10 мВ – 2 В (шаг 10 мВ), 20 мА – 100мА
	Погрешность уровня	$\pm (2\% + 5\text{ мВ})$

**Диэлектрическая спектроскопия** поперечной структуры кабелей проводится путем измерения частичных емкостей и тангенса угла диэлектрических потерь всех изоляционных промежутков на разных частотах. В кабеле, состоящем из  $n$  полюсов (токопроводящих жил, металлических экранов и оболочек), образуется  $N$  изоляционных промежутков (частичных емкостей):

$$N = n \cdot (n - 1) / 2 . \quad (1)$$

Для нахождения параметров всех  $N$  промежутков можно использовать прямые либо совокупные измерения [4].

**Прямые методы** измерений параметров частичных емкостей реализуются с помощью приборов, имеющих три клеммы: две из них используются для подключения к интересующей емкости между двумя элементами конструкции (изоляционному промежутку); третья, экранирующая, для отвода мимо измерительной цепи прибора мешающих шунтирующих токов паразитных емкостей.

**Совокупные методы** измерений выполняются приборами с двумя измерительными клеммами. Экранирующая клемма в этом случае не используется. Общее число вариантов подключений составляет:

$$M = (2^n - 2) / 2. \quad (2)$$

Частичные емкости, подключенные к разным клеммам прибора, оказываются включенными параллельно. Они образуют общую, совокупную, емкость. Результаты измерений отражают совокупные (общие) емкость ( $C_{изм}$ ) и тангенс угла диэлектрических потерь ( $tg \square_{изм}$ ) ряда отдельных частичных емкостей, включенных параллельно. Параметры частичных емкостей (изоляционных промежутков) в этом случае находятся в результате решения системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Так, при наличии в кабеле 21 полюса число изоляционных промежутков составляет 210, а число вариантов подключения – 1048575. Для нахождения параметров 210 промежутков необходимо провести, как минимум, 210 измерений и решить СЛАУ 210-го порядка [5].

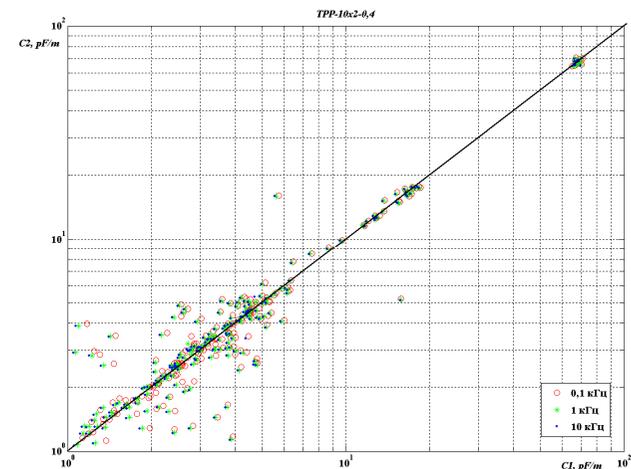
**Тестовые образцы** - два 10-ти парных образца телефонных кабелей ТПП-10х2-0,4 пучковой скрутки с диаметром токопроводящих жил 0,4 мм идентичной конструкции, предназначенные для реализации технологии «последней мили», с шагами скруток пар 40 - 30 мм. Длина образцов – одинакова, что необходимо для корректного сравнения измеряемых параметров. Сканирование поперечной структуры выполнено прямым методом. В таких образцах кабелей по 20 жил и одному общему экрану, т.е. 210 изоляционных промежутков (частичных емкостей). Измерения выполнены на трех частотах: 0,1; 1 и 10 кГц в разные моменты времени:

**I** - в неотопливаемый сезон, глубокой осенью (исходное состояние),

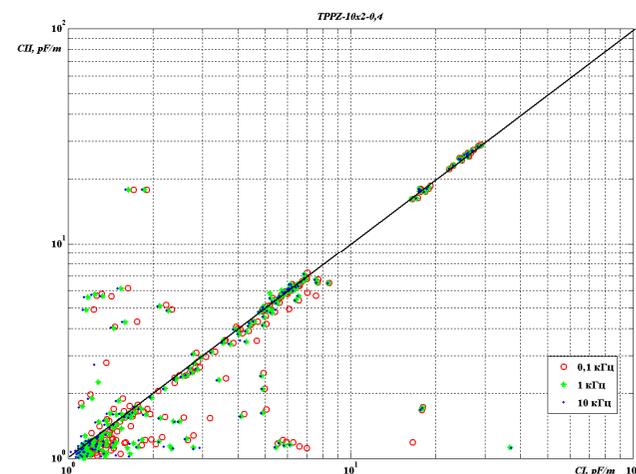
**II** - в отопливаемый сезон, зимой (образцы «подсохли»),

**III** – после пребывания в течение 4-х суток во влагокамере со 100% влажностью в отопливаемый сезон, весной (увлажненное состояние).

На рис.1 – 8 представлены результаты диэлектрической спектроскопии параметров изоляционных промежутков незаполненного и заполненного образцов кабеля ТПП-10х2-0,4.



а)



б)

Рис.1 - Корреляционные зависимости между частичными емкостями изоляционных промежутков незаполненного (а) и заполненного (б) образцов кабеля ТПП-10х2-0,4 в исходном состоянии I (по оси абсцисс) и после пребывания в отопливаемом помещении (состояние II, по оси ординат) на трех частотах измерения

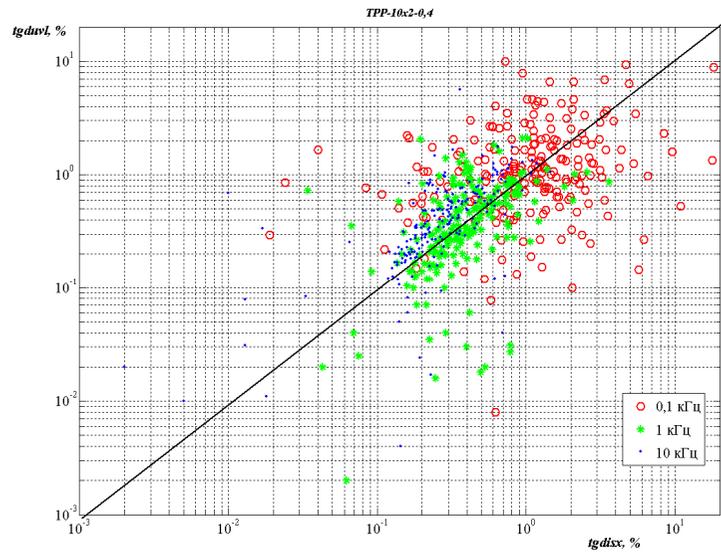


Рис.2 - Динамика изменений  $\text{tg}\delta$  относительно сухого состояния II (по оси абсцисс) в процессе увлажнения во влагокамере (состояние III по оси ординат) кабеля ТПП10x2-0,4 без гидрофобного заполнения на трех частотах измерения

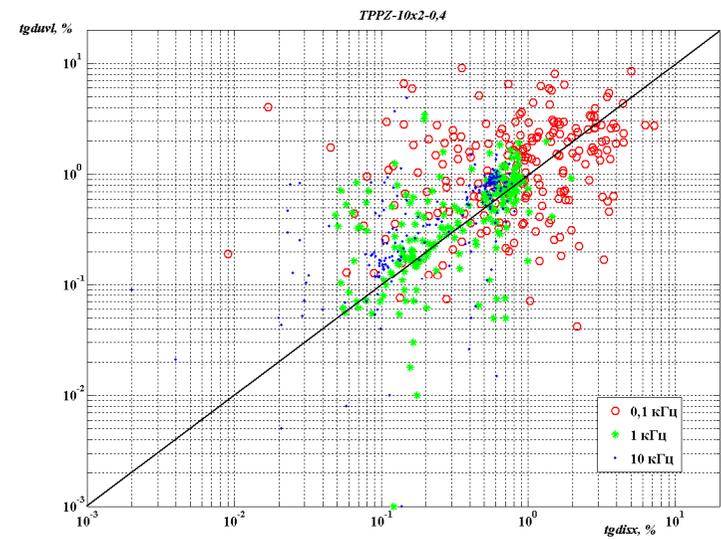


Рис.4 - Динамика изменений  $\text{tg}\delta$  относительно сухого состояния II (по оси абсцисс) в процессе увлажнения во влагокамере (состояние III по оси ординат) кабеля ТПП10x2-0,4 с гидрофобным заполнением на трех частотах измерения

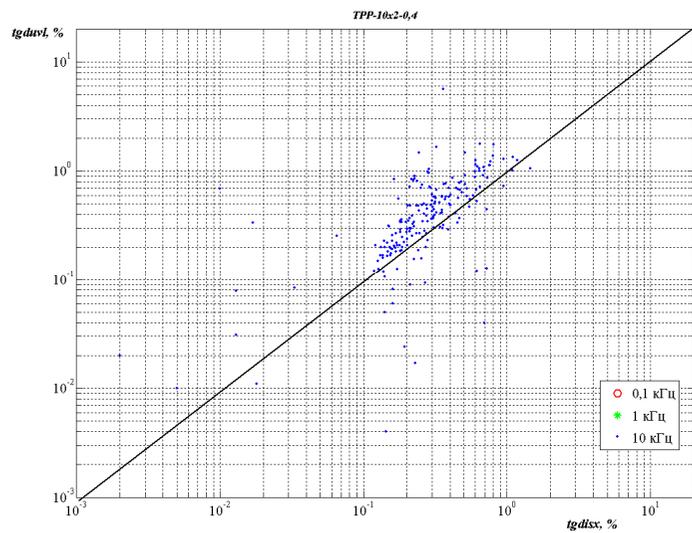


Рис. 3 - То же, что и на рис.1, только для частоты 10 кГц

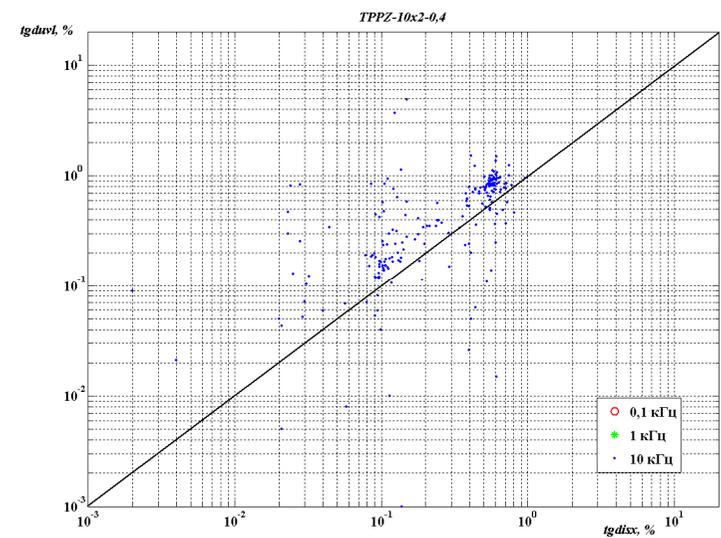


Рис. 5 - То же, что и на рис.3, только для частоты 10 кГц

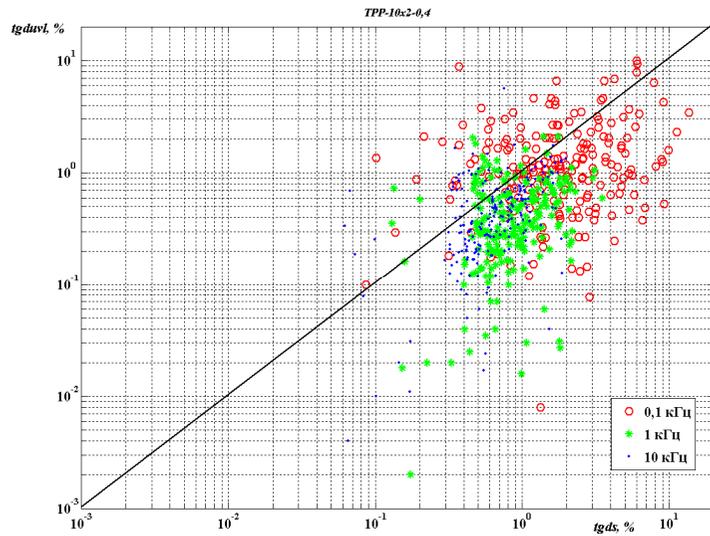


Рис. 6 - Динамика изменений  $\text{tg}\delta$  относительно исходного состояния I (по оси абсцисс) в процессе увлажнения во влагокамере (состояние III по оси ординат) кабеля ТПП10x2-0,4 без гидрофобного заполнения на трех частотах измерения

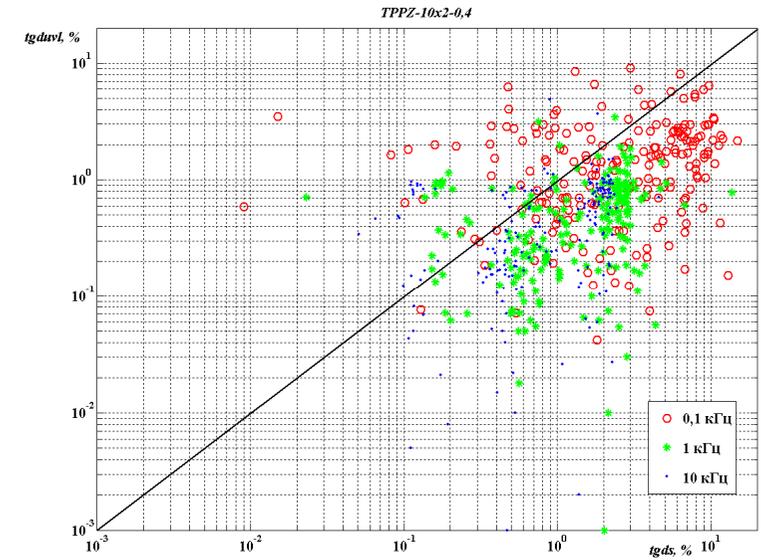


Рис. 8 - Динамика изменений  $\text{tg}\delta$  относительно исходного состояния I (по оси абсцисс) в процессе увлажнения во влагокамере (состояние III по оси ординат) кабеля ТПП10x2-0,4 с гидрофобным заполнением на трех частотах измерения

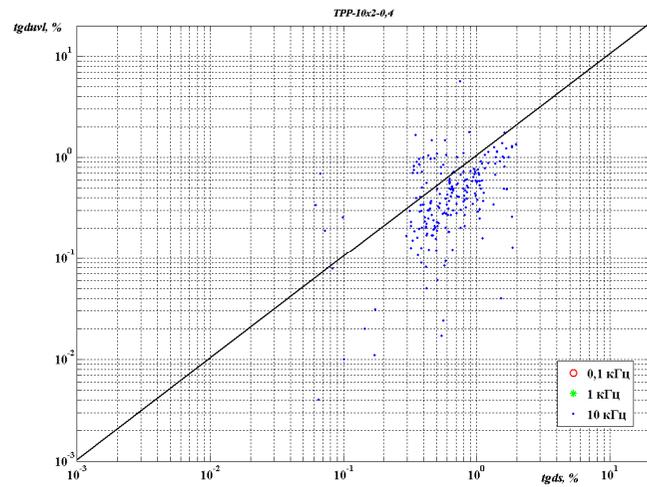


Рис. 7 - То же, что и на рис.5, только для частоты 10 кГц

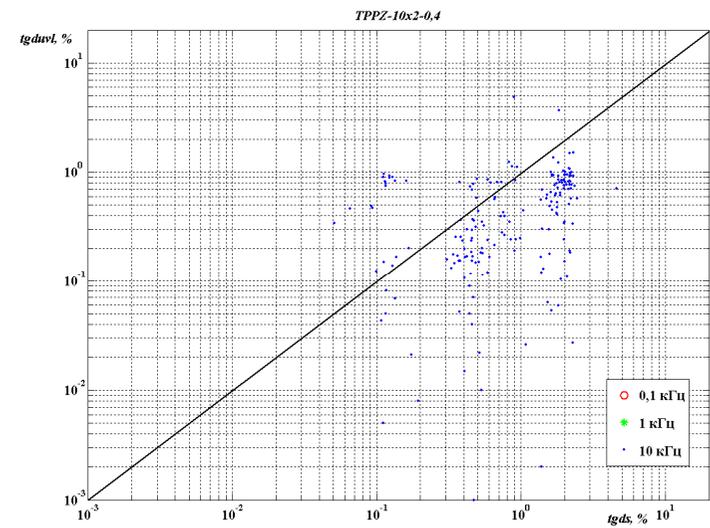


Рис. 9 - То же, что и на рис.7, только для частоты 10 кГц

Таблица 3 - Коэффициенты корреляции незаполненного ( в числителе) и заполненного гидрофобом ( в знаменателе) образцов кабелей ТПП-10х2-0,4 в разные моменты наблюдений

Коэффициент корреляции $r_{ij}$ на частотах			
Время наблюдений	0,1 кГц	1 кГц	10 кГц
	между частичными емкостями:		
Состояние I – состояние II	<b>0,9515 / 0,9113</b>	<b>0,9517 / 0,8680</b>	<b>0,9501 / 0,8666</b>
Состояние II – состояние III	<b>0,8711 / 0,8981</b>	<b>0,8710 / 0,8979</b>	<b>0,8695 / 0,8978</b>
Состояние I – состояние III	<b>0,8315 / 0,9859</b>	<b>0,8311 / 0,9922</b>	<b>0,8303 / 0,9918</b>
Между тангенсами угла диэлектрических потерь			
Состояние I – состояние II	0,3095 / 0,1421	0,5229 / 0,3450	<b>0,6896 / 0,3087</b>
Состояние II – состояние III	0,2546 / 0,2511	0,3768 / 0,4579	0,4774 / 0,4294
Состояние I – состояние III	0,2585 / 0,2754	0,2064 / 0,2153	0,3385 / 0,1341

Результаты измерений показывают, что параметры частичных емкостей изоляционных промежутков как незаполненных, так и заполненных кабелей при сезонных колебаниях температуры и влажности практически не изменяются (см. рис.1 а и б). При этом наблюдается положительная корреляция между всеми результатами наблюдений на всех трех частотах (см. таблицу 4). Для  $\text{tg}\delta$  изоляционных промежутков наблюдается смещение, как в сторону больших (см. рис.2 – 5), так и в сторону меньших (см. рис. 6 – 9) значений относительно линии равной тождественности преимущественно на частоте 10 кГц, как для незаполненного, так и заполненного образцов. Так, дрейф в сторону больших значений (см. рис. 2 - 5) связан с увлажнением «сухих» образцов во влагокамере; в меньшую сторону – нахождение образцов в течение 4-х суток в условиях 100 % влажности не дает такого эффекта увлажнения, как пребывание в неотапливаемом помещении в течение 2-х месяцев в условиях естественной влажности. Образцы в исходном состоянии I увлажнены в большей степени по сравнению с состоянием III.

Положительная корреляция наблюдается только на частоте 10 кГц между исходным состоянием I (нахождение в неотапливаемом помещении) и II (естественная сушка в отапливаемом помещении) для незаполненного кабеля (см. таблицу 3). Отсутствие связи между результатами измерений может быть обусловлено свойствами коротких образцов кабеля с повивной системой скрутки сердечника.

Таблица 4 - Основные технические характеристики водоблокирующих лент GFS FreeSwell фирмы Geca- Topes (Нидерланды)

Параметр	1110	1120	1140
Масса на длину площади, г/мм <sup>2</sup>	50	56	87
Толщина, мм	0,17	0,20	0,25
Прочность на разрыв, Н/см	25	25	25
Относительное удлинение, %	11	11	11
Скорость водопоглощения, мг/мин	2,5	4	10
Длительная рабочая температура, °С	90	90	90

Таким образом, наблюдаются сезонные колебания  $\text{tg}\delta$ , как незаполненных, так и заполненных гидрофобным желе кабелей. Заполнение кабеля гидрофобным желе не исключает проникновение влаги внутрь сердечника. Поэтому в качестве альтернативы можно рассматривать применение «сухих» конструкций кабелей, в которых для защиты от продольного проникновения влаги внутрь сердечника используются водоблокирующие ленты (таблица 4), нити, порошки. Водоблокирующие ленты могут быть использованы в качестве скрепляющей обмотки, роль которой в телефонных кабелях выполняет, как правило, полярная полиэтилентерефталатная лента.

Список литературы: 1. Беспрозванных А.В. Гигроскопическое увлажнение телефонного кабеля с полиэтиленовой оболочкой / А.В. Беспрозванных // Электротехника і електромеханіка. - 2005. - №4.- с.40 - 44. 2. Беспрозванных А.В. Проявление общих конструктивных, технологических и эксплуатационных закономерностей поперечной структуры кабелей пучковой скрутки при электрических измерениях / А.В. Беспрозванных, Б.Г. Набока, О.И. Ляшенко // Вестник НТУ «ХПИ». Харьков: НТУ «ХПИ». - 2006. - №34. - с.17-27. 3. Беспрозванных А.В. Старение телекоммуникационных кабелей в процессе эксплуатации в условиях повышенной влажности / А.В. Беспрозванных // Вестник НТУ «ХПИ». - 2006. - №28.- С. 3 -6. 4. Набока Б.Г. Методика прямых измерений параметров частичных емкостей многожильных кабелей / Б.Г. Набока, А.В. Беспрозванных, А.С. Штангей, О.Н. Радченко // Вестник НТУ «ХПИ». – 2005. - №42. –С. 80 – 86. 5. Беспрозванных А.В. Анализ матрицы коммутации при восстановлении частичных емкостей и тангенса угла диэлектрических потерь многожильных кабелей методом совокупных измерений / А.В. Беспрозванных // Электротехника і електромеханіка. - 2007. - № 1. - С. 62 – 66.

Надійшла в редколегію 03.09.2010