

А. Н. БОЙКО, асп., НТУ «ХПИ»

### ДРЕЙФ ВО ВРЕМЕНИ ЕМКОСТИ И ТАНГЕНСА УГЛА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ НЕЭКРАНИРОВАННЫХ И ЭКРАНИРОВАННЫХ СЕТЕВЫХ КАБЕЛЕЙ

Представлены временные ряды измеренных значений емкости и тангенса угла диэлектрических потерь образцов сетевых кабелей категории 5е. Экспериментально установлено, что разброс значений тангенса угла диэлектрических потерь витой пары экранированного кабеля составляет более двух порядков. Проанализированы причины разброса диэлектрических параметров и даны рекомендации относительно временных интервалов при измерении диэлектрических параметров.

**Ключевые слова:** витая пара, тангенс угла диэлектрических потерь, металлический экран, статическая электризация, методика измерений.

**Введение.** Эволюция технологий в сторону высоких частот делает актуальной проблему электромагнитной совместимости для электрических и электронных устройств, в том числе и для информационных кабелей. Данная проблема имеет два аспекта — влияние собственных излучений систем на работу других устройств и их уязвимость от внешних электромагнитных помех.

Кабели на основе витых пар составляют свыше 80% применяемых кабелей в структурированных кабельных системах (СКС). Как правило, они обеспечивают передачу информации в пределах этажа и относятся к горизонтальной подсистеме СКС. Наиболее популярным решением является использование неэкранированных витых пар [1 – 3].

Кабели являются одновременно источником и приемником электромагнитных помех. Как источник, - кабель передает шумы на другое сетевое оборудование и действует как антенна, излучающая помехи. Как приемник, - кабель улавливает электромагнитные помехи, излучаемые другими источниками. Применяя экранированные кабели, удается снизить уровень как излучаемых, так и принимаемых электромагнитных помех.

**Анализ литературных источников** показывает [4 – 6], что для экранированных кабелей отмечаются более высокие значения активных сопротивлений проводников и рабочих емкостей, а значит и больший коэффициент затухания в сравнении с неэкранированными кабелями той же категории. Причина связана с влиянием экрана на параметры передачи, в частности, эффектом близости. Коэффициент затухания для высокочастотного диапазона определяется не только активным сопротивлением проводников  $R$ , рабочей емкостью  $C$ , но и активной проводимостью изоляции  $G$ , а значит и тангенсом угла диэлектрических потерь  $\text{tg}\delta$  [7]:

$$\alpha = 8,69 \cdot \left( \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} \right) = 8,69 \left( \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{\omega C \text{tg}\delta}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} \right) = \quad (1)$$

$$= 8,69 \left( \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{\omega \text{tg}\delta}{2} \sqrt{CL} \right) = 8,69 \sqrt{C} \left( \frac{R}{2} \sqrt{\frac{1}{L}} + \frac{\omega \text{tg}\delta}{2} \sqrt{L} \right),$$

где  $R$  – активное сопротивление витой пары (сумма сопротивлений прямого и обратного проводников шлейфа), Ом/м;

$C$  – рабочая емкость пары, Ф/м;

$L$  – общая индуктивность пары, Гн/м;

$G$  – активная проводимость изоляции, См/м;

$\text{tg}\delta$  – тангенс угла диэлектрических потерь конструкции.

При этом тангенс угла диэлектрических потерь учитывает потери не только в самой изоляции проводников витой пары, но и в рядом расположенных элементах конструкции: защитной оболочке (для неэкранированной пары), скрепляющей обмотке (для экранированного кабеля).

Необходимо отметить, что как в неэкранированных, так и в экранированных кабелях присутствует ряд границ раздела, на которых происходит накопление как *поверхностного, так и трибозаряда* [8 – 11]. Очевидно, что эти заряды будут приводить к флуктуациям емкости и тангенса угла диэлектрических потерь.

Возникает вопрос: насколько стабильны во времени электрические параметры витой пары неэкранированного и экранированного кабеля?

**Цель статьи – сравнить результаты наблюдений временного дрейфа емкости и тангенса угла диэлектрических потерь витой пары неэкранированного и экранированного кабеля.**

**Объекты исследований.**

Образцы неэкранированного (бухта длиной порядка 90 метров) и экранированного (длиной 25 метров) кабеля категории 5е. В каждом кабеле по 4 витые пары. В качестве тестируемой выбрано по одной паре. Проводники неиспользуемых пар с двух сторон не имеют выступающих медных жил. Неэкранированный кабель имеет достаточно плотную конструкцию: защитная оболочка на основе поливинилхлоридного пластика плотно прилегает к сердечнику кабеля (четыре скрученные пары).

В экранированном кабеле сердечник обмотан скрепляющей политетрафторэтиленовой пленкой, поверх которой продольно наложен алюминиевый экран и дренажный медный проводник.

**Методика проведения измерений.**

Измерения емкости и тангенса угла диэлектрических потерь каждого из образцов выполнены на частоте 120 Гц в течение около 1 часа с помощью цифрового измерителя RLC E7-22. Условия измерений (температура, влажность) и подключение образцов – идентичны. В режиме реального времени результаты измерений с помощью программного обеспечения записывались в память

компьютера.

### Результаты измерений образцов кабелей.

На рис. 1 - 5 приведены временные ряды емкости и тангенса угла диэлектрических потерь тестируемых витых пар. Для удобства анализа результатов измерений временные зависимости параметров представлены в разных масштабах: равномерном, полулогарифмическом и двойном логарифмическом.

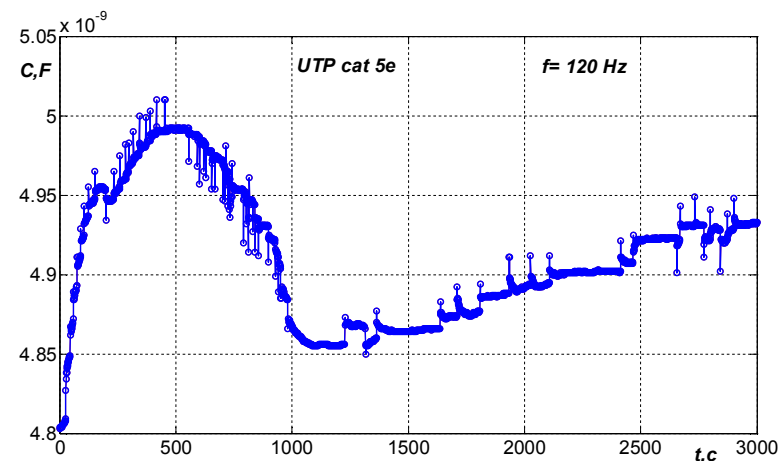
Анализ временных зависимостей для неэкранированного кабеля показывает, что динамика изменения параметров – аналогична. Так, при временах наблюдения от 1 до 20с параметры не изменяются, в диапазоне времен 400 – 500с наблюдается характерный максимум, после которого следует уменьшение и дальнейший рост.

Для экранированного кабеля динамика изменения параметров – совершенно разная (см. рис. 3). Так, для емкости при временах наблюдения от 1 до 1000с флуктуации не существенны. При временах измерения более 1000с наблюдается скачок с ростом флуктуаций. Для тангенса угла диэлектрических потерь характерен существенный разброс измеряемых значений: более 2-х порядков (рис.4). Флуктуации потерь в неэкранированном кабеле, практически, на порядок меньше (см. рис.5 и рис.6).

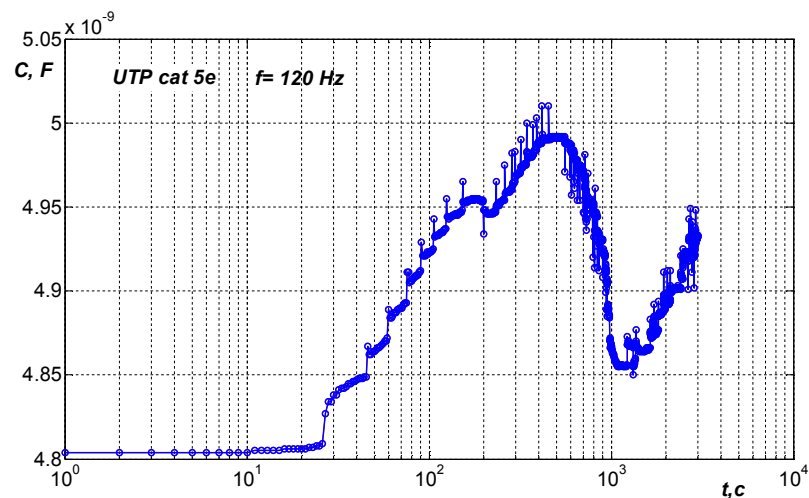
На рис.6 нижняя сторона прямоугольника соответствует 25-процентной точке, верхняя – 75-процентной. Горизонтальная линия внутри прямоугольника – медиане, верхняя и нижняя горизонтальные линии – минимальному и максимальному элементу выборки соответственно.

В образцах обследованных кабелей наблюдается постоянный контакт материалов конструктивных элементов, так как есть возможность свободного перемещения (особенно в образце экранированного кабеля, у которого конструкция менее плотная). На контактирующих поверхностях происходит перенос свободных зарядов и, как следствие, накопление трибозаряда, появление контактной разницы потенциалов – *собственных шумов*. За счет перераспределения электронов на поверхностях контактирующих материалов возникает двойной электрический слой – *дополнительная электрическая емкость*, которая существенно зависит от типа материала.

В случае неэкранированного кабеля категории 5е после механического воздействия на кабель происходит изменение одного из ключевых параметров передачи данного кабеля, - электрической емкости. Емкость приобретает максимальные значения на 500-ой секунде измерений, после чего значения уменьшаются и начинают снова возрастать, но уже менее резко.



а

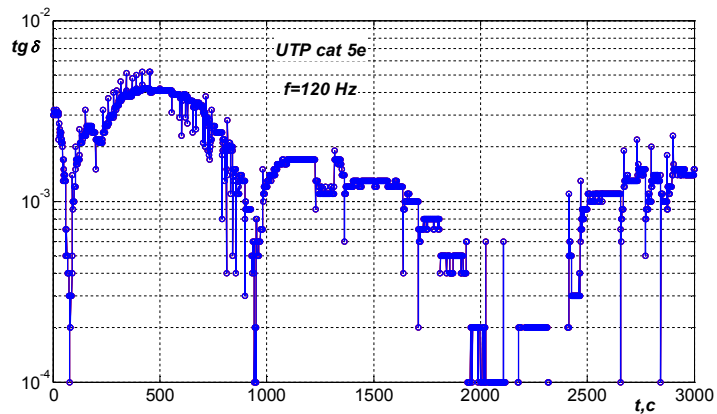


б

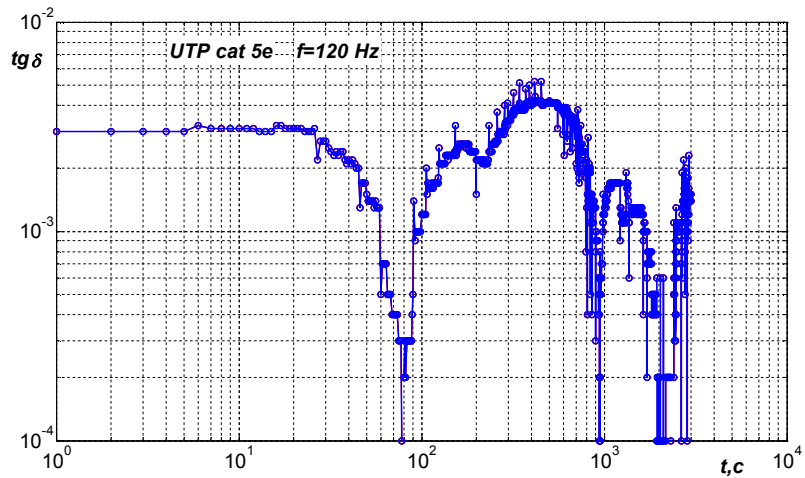
Рис.1 – Временной дрейф емкости неэкранированной витой пары образца неэкранированного кабеля категории 5е: а – равномерный масштаб; б – полулогарифмический

Наблюдая за изменением емкости для данного кабеля, можно соотнести изменения этого параметра с изменениями тангенсом угла диэлектрических потерь. Одновременно с ростом электрической емкости полиэтилена, который связан с релаксацией свободных электрических зарядов, наблюдается и рост

тангенса дельта, максимальные значения которого приходятся на промежутки времени около 500-ой секунды измерений.



а

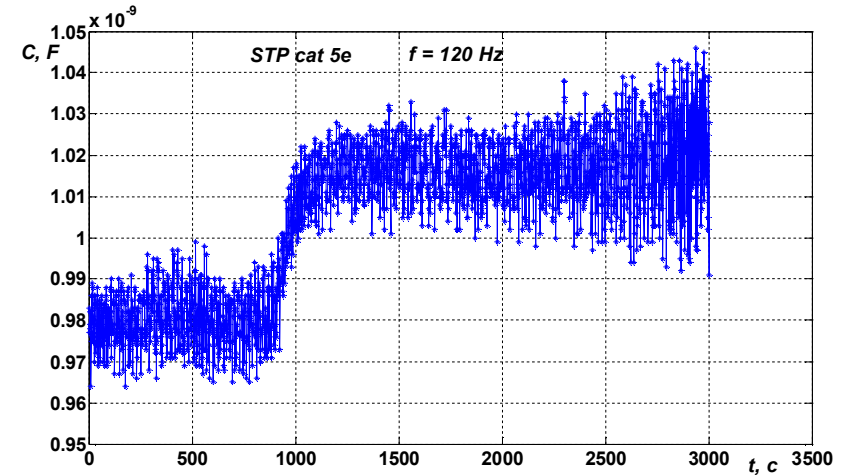


б

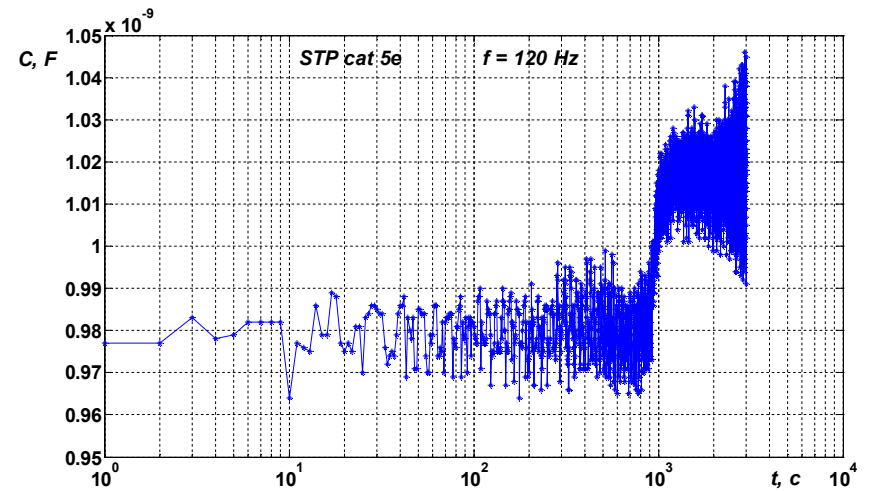
Рис.2 – Временной дрейф тангенса угла диэлектрических потерь неэкранированной витой пары образца неэкранированного кабеля категории 5e: а – полулогарифмический масштаб; б – двойной логарифмический масштаб

Для неэкранированной витой пары наблюдаются заметно большие флуктуации электрической емкости на малых промежутках времени. При этом практически на всем промежутке времени (3000 секнд), как амплитуда

изменений значений емкости, так и сами эти значения, только возростали.



а

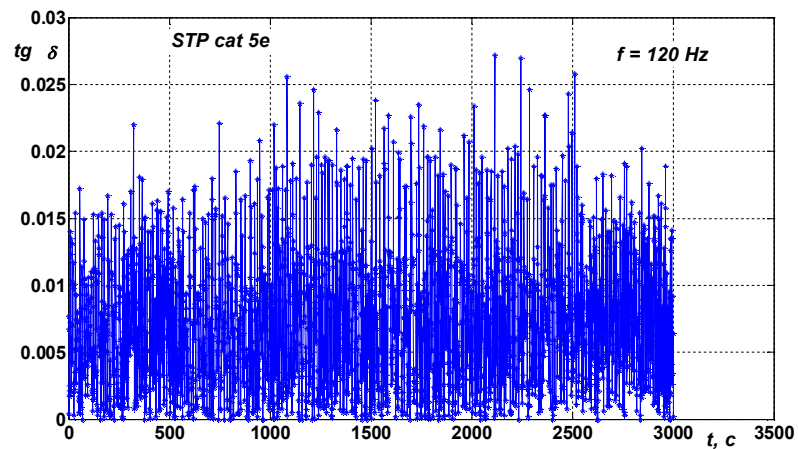


б

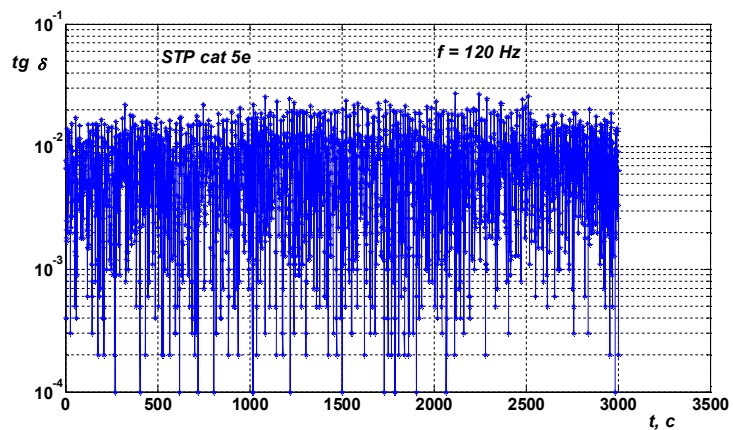
Рис.3 –Временной дрейф емкости неэкранированной витой пары образца экранированного кабеля категории 5e: а – равномерный масштаб; б – полулогарифмический

В случае неэкранированной витой пары измерения тангенса дельта в промежутке времени, равном нескольким секндам, может дать различие

значений этого параметра, равное двум порядкам. В экранированной витой паре не происходит таких стремительных изменений этого параметра.



а

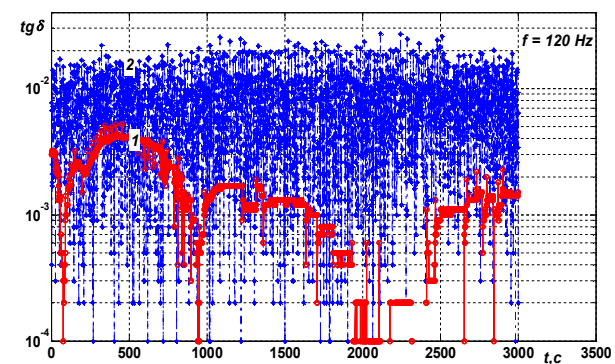


б

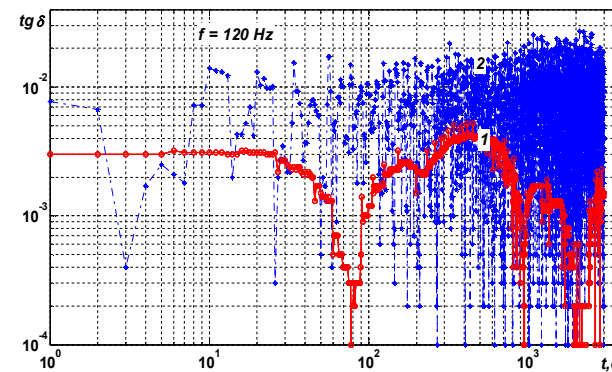
Рис.4 – Временной дрейф тангенса угла диэлектрических потерь неэкранированной витой пары образца экранированного кабеля категории 5е: а – равномерный масштаб; б – полулогарифмический

Таким образом, сравнивая временной дрейф тангенса угла диэлектрических потерь витой пары в экранированном и неэкранированном исполнении, можно сделать вывод, что наличие металлического экрана определенным образом

стабилизирует изменения этого параметра. Наличие экрана становится особенно заметным при длительном измерении тангенса угла диэлектрических потерь данных кабелей (рис.5б).



а



б

Рис.5 – Сравнение временного дрейфа тангенса угла диэлектрических потерь витой пары в неэкранированном (1) и экранированном (2) образцах кабеля категории 5е: а – полулогарифмический масштаб; б – двойной логарифмический

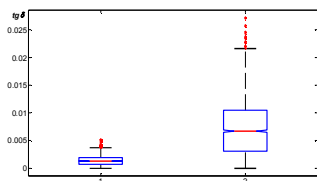


Рис.6 – Статистический разброс значений тангенса угла диэлектрических потерь витой пары в неэкранированном (1) и экранированном (2) образцах кабеля

Разброс измеряемых диэлектрических параметров для одного и того же образца кабеля в одних и тех же условиях проведения измерений обусловлен множеством случайных факторов, которые всегда присутствуют и оказывают воздействие на результаты обследований. Значительный разброс  $\text{tg}\delta$  в процессе длительных наблюдений (1 часа) не может быть связан только со статистическими факторами. Решающую роль играют особенности конструкции и применяемых материалов. В сетевых кабелях применяется высококачественная полиэтиленовая изоляция, обладающая также высокими трибоэлектрическими свойствами. Но в экранированном кабеле трибоэффект усиливается наличием политетрафторэтиленовой скрепляющей пленки и общего алюминиевого экрана. Политетрафторэтиленовая пленка имеет более высокие значения плотности поверхностных ловушек [8]. Этим, очевидно, объясняется существенный разброс измеряемых значений тангенса угла диэлектрических потерь.

В обследованных конструкциях кабелей за счет наличия трибозаряда возникают собственные шумы (помехи), которые и являются в значительной степени источником дрейфа во времени емкости и тангенса угла диэлектрических потерь.

#### Заключение.

Дрейф во времени диэлектрических параметров оказывает влияние на коэффициент затухания сетевых кабелей, что особенно важно для высокочастотных приложений, т.к. потери энергии в изоляции становятся соизмеримыми с потерями в проводниках (в полиэтиленовой изоляции потери слабо зависят от частоты).

Экспериментально установлено, что плотность конструкции существенно влияет на дрейф диэлектрических параметров кабелей.

Скрепляющая лавсановая обмотка недопустима в конструкции экранированных кабелей, т.к. приводит к появлению трибозарядов и существенному разбросу тангенса угла диэлектрических потерь (более, чем два порядка).

Для тангенса угла диэлектрических потерь экранированного кабеля со скрепляющей лавсановой обмоткой достаточно сложно выбрать временной интервал для измерений.

При обследованиях по емкости измерения необходимо проводить сразу же

после подключения образца экранированного кабеля к измерительному прибору. В случае неэкранированного – в первые секунды или по прошествии значительного времени (больше, чем постоянная времени саморазряда изоляции), по истечении которого трибозаряды «успокаиваются».

**Список литературы:** 1. Семенов А. Б. Основные тенденции развития техники СКС // Журнал сетевых решений / LAN, август 2007, том 13, № 8 (133), с. 56–65. 2. Пешков И.Б. Кабели структурированных кабельных систем и проблемы информационной безопасности / И.Б. Пешков // Кабели и провода. – М., №2(309). – 2008. 3. Семенов А. Б. Структурированные кабельные системы промышленного назначения // Мир связи. Connect. 2007, № 7, с. 166–169. 4. Беспрозванных А.В. Влияние скрутки сердечника на параметры передачи сетевых кабелей / Беспрозванных А.В., Игнатенко А.Г // Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков, N7. – 2004. – С.82 – 87. 5. Беспрозванных А.В. Оптимизация конструкции сетевых кабелей по коэффициенту затухания в зоне допусков геометрических размеров параметров передачи / Беспрозванных А.В., Игнатенко А.Г // Электротехника і Електромеханіка. – 2004. 6. Беспрозванных Г.В. Эффективность экранирования витых пар / Г.В.Беспрозванных, А.М.Бойко // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2011. – №41. 7. Беспрозванных Г.В. Обґрунтування товщини ізоляції витих екраниваних пар структуриваних кабельних систем / Г.В.Беспрозванных, А.М.Бойко // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2011. – Вип.2, Т.1. 8. Беспрозванных А.В. Термо-трибо-електрический потенциал для оценки старения полимерной изоляции / А.В.Беспрозванных // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – Харьков: НТУ «ХПИ». – №27. – 2009. – С. 16 – 24. 9. Беспрозванных Г.В. Экспериментальне визначення трибо електричного потенціалу в неекраниваних та екраниваних кабелях / Г.В.Беспрозванных, А.М.Бойко // Електротехніка і Електромеханіка. – Харків, 2012 р. – № 3, 56 – 60 с. 10. Беспрозванных Г.В. Трибоелектричний ефект в електроізоляційних конструкціях / Г.В.Беспрозванных, А.М.Бойко // Тези доповідей XX міжнародно-практичної конференції, ч. II (15-17 травня 2012 р., Харків). - Харків, НТУ «ХПІ». – 324 с. 11. Беспрозванных Г.В. Електростатичні процеси в силових кабелях / Г.В.Беспрозванных, А.М.Бойко // Електротехніка і Електромеханіка. – Харків, 2013 р. – № 4, 27 – 31 с.

Надійшла до редколегії 09.10.2013

УДК 519.2

#### Дрейф во времени емкости и тангенса угла диэлектрических потерь неэкранированных и экранированных сетевых кабелей

/ А.Н. Бойко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХПІ», 2013. – № 59 (1032). – С. 18–28. – Бібліогр.: 11 назв.

Продемонстровані часові ряди вимірюваних значень ємності та тангенсу куту діелектричних втрат взірців мережевих кабелів категорії 5е. Експериментально встановлено, що розкид значень тангенсу куту діелектричних втрат витой пари екраниваного кабелю становить більш ніж два порядки. Проаналізовані причини розкиду діелектричних параметрів і дані рекомендації стосовно часових інтервалів при вимірюванні діелектричних параметрів.

**Ключові слова:** вита пара, тангенс куту діелектричних втрат, металевий екран, статична електризація, методика вимірювань.

The time series of measured values of capacity and dielectric loss tangent of the 5-th category network cables were demonstrated. It was experimentally shown that the variation of dielectric loss tangent values of shielded twisted pairs equals to more than two magnitude orders. The reasons of variation of dielectric parameters were analyzed and there were given recommendations related to time intervals of measuring dielectric parameters.

**Keywords:** twisted pair, [dielectric loss factor](#), metal screen, electrostatic charging, measurement technique.