УДК 621.319 **doi: 10.20998/2074-272X.2020.1.07**

А.В. Беспрозванных, И.А. Костюков

ПОГРЕШНОСТЬ КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО ПАРАМЕТРАМ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АБСОРБЦИИ В СООТВЕТСТВИИ С КОНЦЕПЦИЕЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Представлено методологію оцінки похибки вимірювань параметрів діелектричної абсорбції електроізоляційних конструкцій в рамках концепції невизначеності вимірювань. Наведено статистичний аналіз результатів багаторазових вимірювань ємності і тангенса кута діелектричних втрат скручений пари неекранованого кабелю категорії 5е. Отримано рівняння лінійної регресії для виміряних значень параметрів діелектричної абсорбції від числа вимірів. Виконано оцінювання похибки вимірювань ємності і тангенса кута діелектричних втрат неекранованого кабелю. Бібл. 16, рис. 3.

Ключові слова: **параметри діелектричної абсорбції, ємність, тангенс кута діелектричних втрат, багаторазові вимірювання, похибка вимірювань, стандартна невизначеність, розширена невизначеність, скручена пара, цифровий вимірювач імітансу.**

Представлена методология оценки погрешности измерений параметров диэлектрической абсорбции электроизоляционных конструкций в рамках концепции неопределенности измерений. Приведен статистический анализ результатов многократных измерений емкости и тангенса угла диэлектрических потерь витой пары неэкранированного кабеля категории 5е. Получены уравнения линейной регрессии для измеренных значений параметров диэлектрической абсорбции от числа измерений. Выполнено оценивание погрешности измерений емкости и тангенса угла диэлектрических потерь неэкранированного кабеля. Библ. 16, рис. 3.

Ключевые слова: **параметры диэлектрической абсорбции, емкость, тангенс угла диэлектрических потерь, многократные измерения, погрешность измерений, стандартная неопределенность, расширенная неопределенность, витая пара, цифровой измеритель иммитанса.**

Введение. Измерения на переменном токе параметров диэлектрической абсорбции – емкости C и тангенса угла диэлектрических потерь $tg\delta$ позволяют оценить качество изоляции кабелей, электрических машин, трансформаторов и т.д., как на технологической стадии изготовления, так и в эксплуатации [1-4].

При представлении результатов измерения параметров диэлектрической абсорбции должна быть представлена некоторая количественная характеристика качества полученного результата измерения для возможности: оценки его достоверности; сопоставления со значениями, указанными в технической документации, стандартах; сравнения с результатами, полученными другими авторами.

Увеличение достоверности результата измерения параметров обеспечивается уменьшением погрешности измерений за счет улучшения измерительных приборов и методов измерений и увеличением числа самих измерений [5-9].

Постановка проблемы. При проведении многократных измерений порядок оценки погрешностей измерения определен в [10-12]. Обработка результатов наблюдений включает следующие процедуры:

1. Исключение известных систематических погрешностей из результатов наблюдений.

2. Вычисление среднего арифметического значения результатов наблюдений, принимаемого за результат измерения.

3. Вычисление среднего квадратического отклонения результата наблюдений.

4. Выявление и исключение результатов, содержащих промахи.

5. Вычисление среднего квадратического отклонения результатов измерения.

6. Проверка гипотезы о принадлежности результатов измерений нормальному закону распределения (при числе измерений $n<10$ проверка гипотезы не проводится).

7. Вычисление случайной составляющей погрешности результата измерения с учетом коэффициента Стьюдента в зависимости от принятой доверительной вероятности P и числа результатов наблюдений ($P = 0,95$ при проведении технических измерений).

8. Вычисление неисключенной систематической погрешности результата измерения (пределы допускаемых основных и дополнительных погрешностей средств измерений, а также методические погрешности и погрешности, вызванные другими источниками) [10-12].

По своему определению погрешность результата измерения представляет отклонение результата измерения от *истинного* (*действительного*) значения измеряемой величины, которое на практике при измерении неизвестно [10-12].

В концепции неопределенности измерений не используются понятия истинного и действительного значений измеряемой величины. Результат считается реальностью, поскольку значение истинного измерения – неизвестно [11-13].

Концепция неопределенности является единственной признанной на международном уровне мерой оценки погрешности. Неопределенность измерений рассматривается как неполное знание значения измеряемой величины. Для количественного выражения этой неполноты вводится распределение вероятностей возможных значений измеряемой величины. Параметр этого распределения, называемый неопределенность, количественно характеризует погрешность результата измерений [13].

Неопределенность может быть выражена средним квадратическим отклонением (стандартная неопределенность) или интервалом (расширенная неопределенность) и рассчитана по методу А (на основании

© А.В. Беспрозванных, И.А. Костюков

ряда экспериментальных данных) или по методу В (на основании дополнительной информации) [13].

Неопределенность является количественной мерой того, насколько надежной оценкой измеряемой величины является полученный результат. Неопределенность не означает сомнение в результате, а, наоборот, неопределенность предполагает увеличение степени достоверности результата.

Оценивание результата измерения и его неопределенности проводится в следующей последовательности: составление уравнения измерений; оценка входных величин и их стандартных отклонений (неопределенностей); оценка измеряемой (выходной) величины и ее неопределенности; составление бюджета неопределенности; оценка расширенной неопределенности результата измерений; представление результата измерений [13].

Расширенная неопределенность трактуется как интервал, содержащий заданную долю распределения значений, которые могли быть обоснованно приписаны измеряемой величине. Расширенная неопределенность в концепции неопределенности не играет той роли, которая отводится в концепции погрешности. Считается, что основным результатом оценки является суммарная неопределенность u_C, а расширенная неопределенность отличается от нее на постоянный коэффициент, который необходим в ряде специальных случаев для показа надежности оценки. Этот коэффициент может принимать значения от 2 до 3 при уровне доверия от 0,95 до 0,99.

Целью статьи является оценка погрешности контроля электроизоляционных конструкций по параметрам диэлектрической абсорбции в соответствии с концепцией неопределенности измерений.

Методология оценки погрешности измерений емкости и тангенса угла диэлектрических потерь. Обследования электроизоляционных конструкций в стационарных лабораторных условиях допускают повторные наблюдения измеряемых параметров диэлектрической абсорбции. Результаты повторных измерений параметров даже в стационарных условиях отличаются один от другого, т.к. сказывается влияние множества случайных помех.

Стандартными способами уменьшения влияния случайных помех является вычисление среднего и дисперсии s измеряемых параметров [7-8, 14].

Основное различие в концепциях (неопределенности и погрешности) состоит в том, к какой величине относят дисперсию (среднее квадратическое отклонение): к действительному значению измеряемой величины или к результату измерения.

Исходными данными для оценивания стандартной неопределенности измерений являются результаты многократных измерений (N) емкости C_i и тангенса угла диэлектрических потерь $\mathrm{tg}\delta_i$. На основании полученных результатов рассчитываются средние арифметические $\overline{C_i}$, $\overline{\mathrm{tg}\delta_i}$, которые являются оценкой емкости и тангенса угла диэлектрических потерь.

Так, для электрической емкости среднее значение

$$\overline{C_i} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} C_i \,. \qquad (1)$$

Стандартная неопределенность, связанная с оценкой $\overline{C}$, является экспериментальным стандартным отклонением среднего значения и равна положительному квадратному корню из экспериментальной дисперсии среднего значения.

Стандартная неопределенность измерений $u(C_i)$ по методу А

$$u(C_i) = u_A(C_i) = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)}\sum_{i=1}^{N}\left(C_i - \overline{C_i}\right)^2} \qquad (2)$$

для результата измерения $C_i = \overline{C_i}$, вычисленного как среднее арифметическое.

При вычислении стандартной неопределенности в соответствии с (2) используется N независимых случайных значений вида C_i и одно значение $\overline{C}_i$, зависящее от них. Поэтому число степеней свободы, связанное с (1), равно $k = N - 1$.

Сумма квадратов в (2) относится к одной степени свободы, поэтому в знаменателе (2) стоит число $N - 1$.

При увеличении количества измерений среднее арифметическое $\overline{C}_i$ стремится к истинному значению $\overline{C}_i$ при условии устранения всех систематических погрешностей. При этом разность между погрешностью и ($C_i - \overline{C}_i$) будет стремиться к нулю. Тогда и математические закономерности поведения совокупностей погрешности и $u(C_i)$ будут подобны.

При вычислении среднего выполняется суммирование ряда случайных значений емкости C_i (тангенса угла диэлектрических потерь) – результатов единичных наблюдений. Каждый из результатов C_i можно представить как сумму математического ожидания $\overline{C}$ и случайной аддитивной погрешности e, распределенной по нормальному закону с нулевым математическим ожиданием [14]

$$C_i = \overline{C} + e \,. \qquad (3)$$

При суммировании N случайных значений вида (3) происходит увеличение математического ожидания слагаемого $\overline{C}$ в N раз, а случайного (e) – только в $\sqrt{N}$ раз. Другими словами, $\overline{C}$ – усиливается, а случайное e – уменьшается. В результате среднее в меньшей степени подвержено флуктуациям, чем результат единичного наблюдения C_i. Дисперсия среднего $s_{\overline{C}}^2$ оказывается в N раз меньше дисперсии единичного наблюдения s^2 [6, 14]

$$s_{\overline{C}}^2 = \frac{s^2}{N} \,. \qquad (4).$$

Накопление результатов N измерений и вычисление среднего приводят к уменьшению ширины доверительного интервала практически в $\sqrt{N}$ раз

$$\widetilde{C} - t(k,p)\frac{s}{\sqrt{N}} \le \overline{C} \le \widetilde{C} + t(k,p)\frac{s}{\sqrt{N}} \,, \qquad (5)$$

где $t(k, p)$ – критерий Стьюдента, выбранный с доверительной вероятностью P (обычно $P = 0{,}95$) для числа степеней свободы k.

Так, при $N = 100$ ширина интервала неопределенности уменьшается в 10 раз. При использовании, например, цифрового измерителя иммитанса Е7-14 появляется дополнительная значащая цифра, свидетельствующая об уменьшении погрешности результата измерения [5].

Статистический анализ результатов многократных измерений параметров диэлектрической абсорбции. Апробация методологии оценки погрешности измерений емкости и тангенса угла диэлектрических потерь в концепции неопределенности измерений электроизоляционных конструкций выполнена на примере витой неэкранированной пары категории 5е [15, 16]. Длина кабеля 100 м. Измерения емкости и тангенса угла диэлектрических потерь выполнены на частоте 120 Гц в течение 1 часа с помощью цифрового измерителя иммитанса RLC E7-22 при неизменных условиях окружающего воздуха в лабораторных условиях. В режиме реального времени с дискретностью 1 с результаты измерений по стандартному электрическому интерфейсу RS-232 записывались в память компьютера с помощью программного обеспечения. Погрешность измерителя 0,7 %.

На рис. 1 приведена 3D диаграмма временных рядов электрической емкости и тангенса угла диэлектрических потерь витой неэкранированной пары категории 5е.

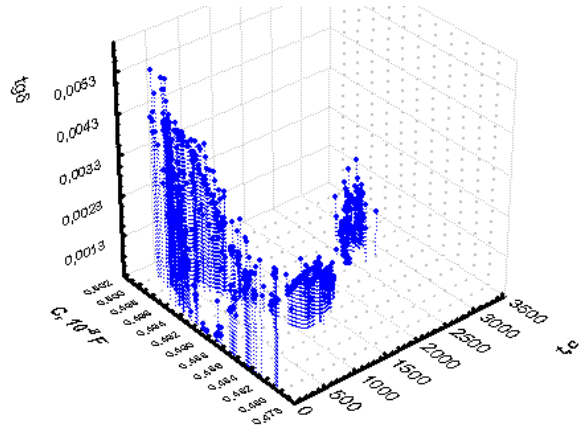


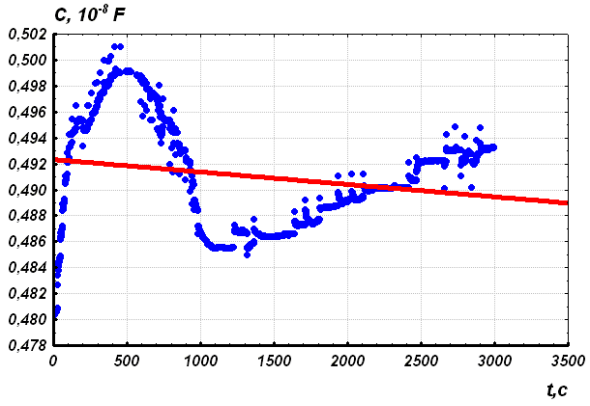
Рис. 1. Временные ряды параметров диэлектрической абсорбции витой неэкранированной пары

Динамика изменения во времени емкости (рис. 2,*а*) и тангенса угла диэлектрических потерь (рис. 2,*б*) – практически идентична. Но различие во временных зависимостях и бóльший разброс значений tgδ обусловлены физической сущностью тангенса угла диэлектрических потерь. Этот параметр отражает не только потери на поляризацию, но и на электропроводность. Прямой линией на рисунках показана линия регрессии значений параметров в зависимости от числа измерений *N*. Уравнения линейной регрессии для измеренных значений параметров диэлектрической абсорбции от числа измерений *N* имеют вид

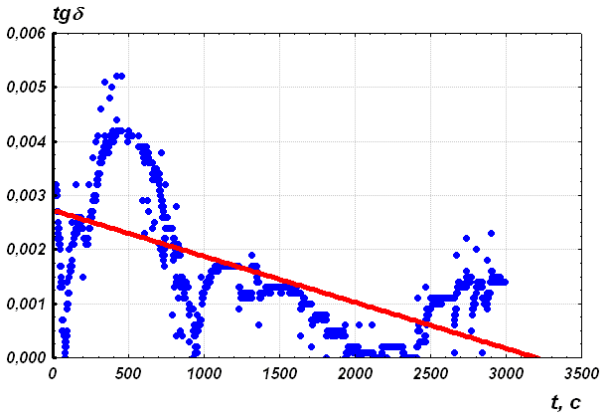
$$C = (0{,}4923 - 9{,}5794 \cdot 10^{-7} N) \cdot 10^{-8}, F \qquad (6)$$

$$\mathrm{tg}\delta = 0{,}0027 - 8{,}5081 \cdot 10^{-7} N. \qquad (7)$$

Среднее значение емкости равно $0{,}4909 \cdot 10^{-8}$ Ф; среднее квадратическое отклонение $0{,}00406 \cdot 1^{-8}$ Ф; максимальное значение $0{,}501 \cdot 10^{-8}$ Ф; минимальное $0{,}4803 \cdot 10^{-8}$ Ф (рис. 3,*а*). Среднее значение тангенса угла диэлектрических потерь равно 0,001433; среднее квадратическое отклонение 0,001128; максимальное значение 0,052; минимальное значение равно 0, что может быть связано с недостаточной чувствительностью цифрового измерителя (рис. 3,*б*).

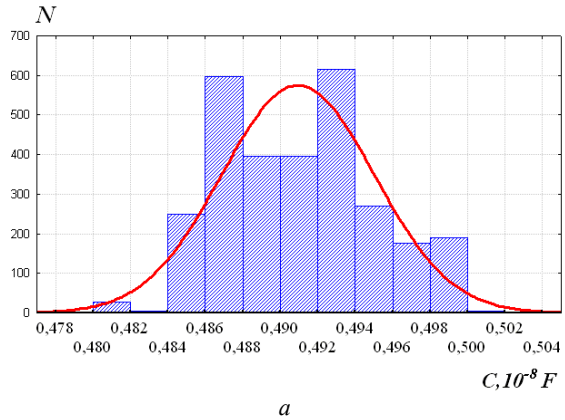


а

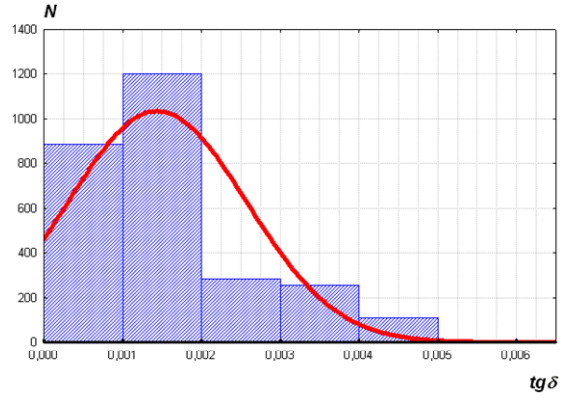


б

Рис. 2. Результаты многократных измерений с дискретностью 1 с электрической емкости и тангенса угла диэлектрических потерь витой пары



а



б

Рис. 3. Гистограмма результатов наблюдений в предположении нормального закона распределения измеренных параметров диэлектрической абсорбции

Оценка погрешности измерений емкости и тангенса угла диэлектрических потерь. Вычисленная стандартная неопределенность измерений по типу А, обусловленная источниками неопределенности, имеющими случайный характер, в соответствии с (2), равна $u(C_i) = 7{,}5007 \cdot 10^{-13}$ Ф или 0,00153 % – для емкости; $u(\mathrm{tg}\delta_i) = 2{,}0771 \cdot 10^{-5}$ или 1,45 % – для тангенса угла диэлектрических потерь.

Стандартная неопределенность измерений по типу Б для источников неопределенности систематического характера, т.е. приборная погрешность, составляет: $1{,}9827 \cdot 10^{-11}$ Ф или 0,4 % – для емкости и $5{,}7983 \cdot 10^{-6}$ или 0,4 % – для тангенса угла диэлектрических потерь соответственно.

Суммарная стандартная неопределенность: $1{,}9841 \cdot 10^{-11}$ Ф или 0,4 % – для емкости и $2{,}1565 \cdot 10^{-11}$ или 1,5 % – для тангенса угла диэлектрических потерь соответственно.

Расширенная неопределенность результатов измерений цифровым измерителем иммитанса Е7-22 составляет: для емкости 0,8 %; для тангенса угла диэлектрических потерь 3 % соответственно для доверительной вероятности (вероятности охвата) $P = 0{,}95$ и коэффициенте охвата $k = 2$.

Выводы.

Представлена методология оценки погрешности измерений параметров диэлектрической абсорбции электроизоляционных конструкций в рамках концепции неопределенности измерений.

Апробация методологии оценки погрешности контроля электроизоляционных конструкций по емкости и тангенсу угла диэлектрических потерь в концепции неопределенности измерений выполнена на примере витой неэкранированной пары категории 5е.

Проведен статистический анализ результатов многократных измерений емкости и тангенса угла диэлектрических потерь неэкранированного кабеля. Получены уравнения линейной регрессии для измеренных значений параметров диэлектрической абсорбции от числа измерений.

Выполнено оценивание погрешности измерений емкости и тангенса угла диэлектрических потерь неэкранированного кабеля. Стандартная неопределенность измерений по типу А составляет 0,00153 % для емкости и 1,45 % для тангенса угла диэлектрических потерь. Расширенная неопределенность результатов измерений цифровым измерителем иммитанса Е7-22 для доверительной вероятности (вероятности охвата) $P = 0{,}95$ и коэффициенте охвата $k = 2$ составляет 0,8 % и 3 % для емкости и тангенса угла диэлектрических потерь соответственно.

Обеспечение единства в методах оценки погрешности результатов измерения, как при использовании традиционного понятия *«погрешность результата измерения»*, так и при внедрении в практику понятия *«неопределенность результата измерения»*, позволит однозначно интерпретировать и корректно сопоставлять между собой результаты измерений емкости и тангенса угла диэлектрических потерь электроизоляционных конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Liu T., Fothergill J., Dodd S., Nilsson U. Dielectric spectroscopy measurements on very low loss cross-linked polyethylene power cables // Journal of Physics: Conference Series. – 2009. – vol.183. – p. 012002. **doi: 10.1088/1742-6596/183/1/012002.**

2. Setayeshmehr A., Fofana I., Eichler C., Akbari A., Borsi H., Gockenbach E. Dielectric spectroscopic measurements on transformer oil-paper insulation under controlled laboratory conditions // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. – 2008. – vol.15. – no.4. – pp. 1100-1111. **doi: 10.1109/tdei.2008.4591233.**

3. Gavrilă Doina Elena. Dielectric Spectroscopy, a Modern Method for Microstructural Characterization of Materials // Journal of Materials Science and Engineering A. – 2014. – no.1. – pp. 18-26. **doi: 10.17265/2161-6213/2014.01.003.**

4. Беспрозванных А.В., Рогинский А.В. Диэлектрическая спектроскопия корпусной термореактивной композитной электроизоляционной системы асинхронных тяговых электрических машин // Електротехніка і електромеханіка. − 2018. − №6 − С. 17-20. **doi: 10.20998/2074-272X.2018.1.02**.

5. Беспрозванных А.В., Набока Б.Г. Влияние паразитных емкостей на результаты измерений параметров многожильных кабелей при оценке их технического состояния // Электричество. – 2011. – №5. − С. 27-36.

6. Безпрозванних Г.В., Бойко А.М. Електростатичні процеси в силових кабелях // Електротехніка і електромеханіка. – 2013. − №4. − С. 27-31.

7. Харт Х. Введение в измерительную технику. – М.: Мир, 1999. – 391 с.

8. Марков Н.С. Основы теории обработки результатов измерений. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 176 с.

9. ДСТУ ISO 10012:2005 Системи керування вимірюванням. Вимоги до процесів вимірювання та вимірювального обладнання. Чинний від 2007-01-01.

10. ДСТУ ISO/TR 10017:2005 Настанови щодо застосування статистичних методів згідно з ISO 9001:2000. Чинний від 2007-01-01.

11. Миронов Э.Г., Фирсанов В.А. Погрешности и неопределенности измерений // Практика приборостроения. − 2004. –№2. − С. 79-84.

12. Кузнецов В.П. Сопоставительный анализ погрешности и неопределенности измерений // Измерительная техника. –2003. –№8. − С. 21-27.

13. JCGM 100:2008. Evaluation of measurement data. Guide to the expression of uncertainty in measurement [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.bipm.org/utils/common/documents/jcgm.

14. Гольцман Ф.М. Физический эксперимент и статистические выводы: Учебное пособие. − Л.: Изд-во Ленингр. Университета, 1982. − 192 с.

15. Бойко А.Н. Дрейф во времени емкости и тангенса угла диэлектрических потерь неэкранированных и экранированных сетевых кабелей // Вісник НТУ «ХПІ». – 2013. − №42. – С. 65-68.

16. Безпрозванних Г.В., Бойко А.М. Експериментальне визначення трибоелектричного потенціалу в мережевих неекранованих та екранованих кабелях // Електротехніка і електромеханіка. – 2012. − №3. – С. 56-60.

REFERENCES

1. Liu T., Fothergill J., Dodd S., Nilsson U. Dielectric spectroscopy measurements on very low loss cross-linked polyethylene power cables. *Journal of Physics: Conference Series*, 2009, vol.183, p. 012002. **doi: 10.1088/1742-6596/183/1/012002.**

2. Setayeshmehr A., Fofana I., Eichler C., Akbari A., Borsi H., Gockenbach E. Dielectric spectroscopic measurements on transformer oil-paper insulation under controlled laboratory conditions. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 2008, vol.15, no.4, pp. 1100-1111. **doi: 10.1109/tdei.2008.4591233.**

3. Gavrilă Doina Elena. Dielectric Spectroscopy, a Modern Method for Microstructural Characterization of Materials. *Journal of Materials Science and Engineering A*, 2014, no.1, pp. 18-26. **doi: 10.17265/2161-6213/2014.01.003.**

4. Bezprozvannych G.V., Roginskiy A.V. Dielectric spectroscopy of casing thermosetting composite electrical insulation system of induction traction electric machines. *Electrical engineering & electromechanics*, 2018, no.1, pp. 17-20. **doi: 10.20998/2074-272X.2018.1.02.**

5. Bezprozvannych G.V., Naboka B.G. Influence of parasitic capacitance on the results of measurements of parameters of multicore cables in assessing their technical condition. *Electricity*, 2011, no.5, pp. 27-36. (Rus).

6. Bezprozvannych G.V., Boyko A.M. Electrostatic processes in power cables. *Electrical engineering & electromechanics*, 2013, no.4, pp. 27-31. (Ukr).

7. Hart H. *Vvedenie v izmeritel'nuiu tekhniku* [Introduction to Measurement Technology]. Moscow, Mir Publ., 1999. 391 p. (Rus).

8. Markov N.S. *Osnovy teorii obrabotki rezul'tatov izmerenii* [Fundamentals of the theory of processing measurement results]. Moscow, Standards Publishing House, 1991. 176 p. (Rus).

9. *DSTU 4743: 2007. Provody samoutrymni izolovani ta zakhyshcheni dlia povitrianykh linii elektroperedavannia. Zahalni tekhnichni umovy* [State Standard of Ukraine DSTU 4743: 2007. Wires self-supporting insulated and protected for overhead transmission lines. General specifications]. Kyiv, 2007. 26 p. (Ukr).

10. *DSTU ISO 10012:2005 Systemy keruvannia vymiriuvanniam. Vymohy do protsesiv vymiriuvannia ta vymiriuvalnoho obladnannia* [State Standard of Ukraine DSTU ISO 10012. Measurement management systems requirements for measurement processes and measuring equipment]. (Ukr).

11. Mironov E.G., Firsanov V.A. Errors and measurement uncertainties. *Instrumentation Practice*, 2004, no.2, pp. 79-84. (Rus).

12. Kuznetsov V.P. Error of Measurement and Uncertainty: A Comparison. *Measurement Techniques*, 2003, vol.46, iss.8, pp. 751-760. **doi: 10.1023/a:1026157229045**.

13. *JCGM 100:2008. Evaluation of measurement data. Guide to the expression of uncertainty in measurement*. Available at: http://www.bipm.org/ utils/common/documents/jcgm (accessed 17 June 2018).

14. Goltsman F.M. *Fizicheskii eksperiment i statisticheskie vyvody* [Physical experiment and statistical conclusions]. Leningrad, Leningrad University Publ., 1982. 192 p. (Rus).

15. Boyko A.N. Drift in time capacity and dielectric loss tangent of unshielded and shielded network cables. *Bulletin of NTU «KhPI»*, 2013, no.42, pp. 65-68. (Rus).

16. Bezprozvannych G.V., Boyko A.M. Experimental determination of triboelectric potential in unshielded and shielded network cables. *Electrical engineering & electromechanics*, 2012, no.3, pp. 56-60 (Ukr).

Поступила (received) 12.11.2019

Беспрозванных Анна Викторовна[1], *д.т.н., проф.,*
Костюков Иван Александрович[1], *к.т.н., докторант,*
[1] Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»,
61002, Харьков, ул. Кирпичева, 2,
тел/phone +380 57 7076010,
e-mail: bezprozvannych@kpi.kharkov.ua,
iakostiukow@gmail.com

G.V. Bezprozvannych[1], *I.A. Kostiukov*[1]
[1] National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», 2, Kyrpychova Str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

Error of control of electrical insulation structures by dielectric absorption parameters according to the concept of uncertainty of measurements .

Introduction. *Measurements on alternating current of dielectric absorption parameters – capacitance and dielectric loss tangent tgδ allow us to evaluate the quality of insulation of cables, electrical machines, transformers, etc., both at the technological stage of manufacture and in operation. An increase in the reliability of the measurement result of the parameters is provided by a decrease in the measurement error due to the improvement of measuring instruments and measurement methods and an increase in the number of measurements* ***Purpose.*** *The estimation of the error of control of electrical insulation structures by dielectric absorption parameters in accordance with the concept of measurement uncertainty.* ***Methodology.*** *The error of measurements of the capacitance and the tangent of the dielectric loss angle is estimated using the example of a twisted unshielded pair of category 5e. A statistical analysis of the results of multiple measurements of the capacitance and the tangent of the dielectric loss angle of an unshielded cable is carried out. The linear regression equations for the measured values of the dielectric absorption parameters of the number of measurements are obtained.* ***Practical value.*** *Ensuring unity in the methods for estimating the error of measurement results, both when using the traditional concept of «measurement result error» and when introducing the concept of «measurement result uncertainty» into practice, it will allow to unambiguously interpret and correctly compare the results of measurements of the capacitance and tangent of the dielectric loss angle of electrical insulation structures.* References 16, figures 3.

Key words: **dielectric absorption parameters, capacitance, dielectric loss tangent, multiple measurements, measurement error, standard uncertainty, expanded uncertainty, twisted pair, digital immitance meter.**