

матеріалу цих тіл і щільності струму, що протікає. Дані формули (35) і (37) можуть бути використані, наприклад, при розробці пристроїв діагностики й контролю справності рейкових ниток та заземлювачів.

**Список літератури:** 1. *Тоннела М. А.* Основы электромагнетизма и теории относительности / *М. А. Тоннела.* – М.: Издательство иностранной литературы, 1962. – 483 с. 2. *Тамм И. Е.* Основы теории электричества / *И. Е. Тамм.* – М.: Издательство физико-математической литературы, 2006. – 616 с. 3. *Маделунг Э.* Математический аппарат физики / *Э. Маделунг.* – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1960. – 618 с. 4. *Анго А.* Математика для электро- и радиоинженеров / *А. Анго.* – М.: Наука, 1964. – 772 с.

*Надійшла до редколегії 10.10.2013*

УДК 621.3.01

**Про магнітні параметри масивних феромагнітних тіл / П. Я. Придубков, І. В. Хоменко // Вісник НТУ «ХП».** Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. – Х.: НТУ «ХП», 2013. – № 59 (1032). – С. 147–153. – Бібліогр.: 4 назв.

Исследованы и уточнены аналитические зависимости, описывающие влияние тока, протекающего по материальным металлическим телам, на их намагниченность, и на магнитные параметры поля, образующегося вокруг, а также установлено влияния геометрических размеров данных тел на эти параметры

**Ключевые слова:** векторный потенциал, намагниченность, магнитные параметры поля, плотность тока.

Analytical dependences, describing influencing of current flowing on material metallic bodies, are explored and specified, on their magnetized, and on the magnetic parameters of the field appearing around, and also influences of geometrical sizes of the given bodies are set on these parameters.

**Keywords:** vector potential, magnetization, magnetic field properties, current density.

УДК 621.315

**Ю.Н. ШУМИЛОВ**, д.т.н., проф. зам. директора ГП «НИИВН», Славянск

## **ИМПУЛЬСНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ СТЕРЖНЕВЫХ И ГИРЛЯНД ТАРЕЛЬЧАТЫХ ИЗОЛЯТОРОВ В ЗОНЕ СИЛЬНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ**

Показано, что на участках ВЛ в зоне сильных загрязнений характеристики импульсной электрической прочности полимерных стержневых и гирлянд тарельчатых изоляторов должны быть скоординированы.

**Ключевые слова:** импульсное разрядное напряжение, грозовые отключения, стеклянные изоляторы.

Электрическая прочность внешней изоляции воздушных линий оценивается величиной напряжения поверхностного перекрытия при воздействии грозовых и коммутационных импульсов, а также напряжением перекрытия при переменном напряжении в нормальном эксплуатационном режиме в загрязненном и увлажненном состоянии. Опыт эксплуатации гирлянд линейных изоляторов из традиционных материалов – фарфора и стекла показал, что по числу перекрытий и по тяжести последствий наиболее опасным является нормальный эксплуатационный режим при их увлажнении и загрязнении [1]. В связи с этим длина пути утечки гирлянды и, соответственно, ее длина выбираются по нормальному эксплуатационному режиму [2]. Считается, что при длине гирлянды, выбранной по нормальному эксплуатационному режиму, перекрытие гирлянд на ВЛ вследствие внутренних перенапряжений отсутствует, а перекрытия при атмосферных перенапряжениях в большинстве случаев сопровождаются успешным автоматическим повторным включением (АПВ) и не приводят к перерыву электроснабжения. Такая идеология была использована и при разработке полимерных изоляторов (ПИ) в части выбора изоляционной длины [3]. Длительное время нареканий по этому поводу не возникало. Однако по мере роста объемов применения полимерных изоляторов от электросетевых предприятий стали поступать сообщения об отдельных случаях перекрытия и повреждения полимерных изоляторов, связанных с грозовой деятельностью. Сообщения поступали преимущественно из районов с загрязненной атмосферой, т.е. оттуда, где применение полимерных изоляторов наиболее эффективно. Перекрытия, хотя и

© Ю. Н. Шумилов, 2013

немногочисленные, потребовали детального изучения их причин. При изучении данного вопроса было установлено, что в районах сильных загрязнений наблюдается существенная разница в линейных размерах и импульсных разрядных характеристиках полимерных изоляторов и стеклянных гирлянд. Изучение нормативных документов показало, что эта разница заложена в действующей Инструкции по выбору изоляции ГКД 34.51.101-96 [2]. Согласно данной инструкции для районов I - III СЗА изоляционная длина гирлянд и полимерных изоляторов практически одинакова, однако, по мере увеличения СЗА превышение длины гирлянды над длиной полимерного изолятора возрастает, достигая разницы в 1,66÷1,79 раз для района VII СЗА, рис.1 - 2, табл. 1. то есть полимерные подвески в зонах сильных загрязнений были существенно короче.

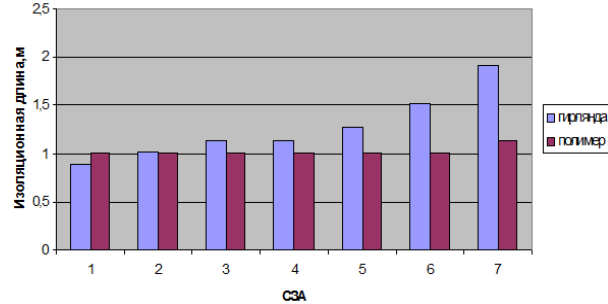


Рис. 1 – Линия 110 кВ, различные степени загрязненности атмосферы

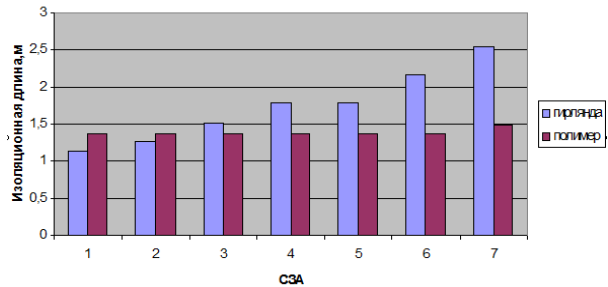


Рис. 2 – Линия 150 кВ, различные степени загрязненности атмосферы

Таблица 1 – Изоляционная длина гирлянды тарельчатых (Г) и полимерных (П) изоляторов для районов с различной СЗА по ГКД 34.51.101-96 [2], м

СЗА	Удельная эффективная длина пути утечки $\lambda_3^*$ , см/кВ	35 кВ			110 кВ			150 кВ			220 кВ		
		Г	П	К**	Г	П	К**	Г	П	К	Г	П	К**
I	1,9/1,5	0,38	0,358	1,06	0,889	1,008	0,88	1,143	1,365	0,84	1,78	1,858	0,96
II	1,9/1,6	0,38	0,358	1,06	1,016	1,008	1,008	1,27	1,365	0,93	1,905	1,858	1,02
III	2,25/1,9	0,508	0,358	1,42	1,143	1,008	1,13	1,524	1,365	1,17	2,28	1,858	1,23
IV	2,6/2,25	0,508	0,358	1,42	1,143	1,008	1,13	1,78	1,365	1,30	2,67	1,858	1,44
V	3,1/2,6	0,508	0,424	1,2	1,27	1,088	1,17	1,78	1,415	1,25	2,54	2,141	1,19
VI	3,5/3,1	0,635	0,424	1,5	1,524	1,088	1,40	2,16	1,415	1,53	2,92	2,141	1,34
VII	4,2/3,7	0,635	0,424	1,5	1,905	1,139	1,67	2,54	1,415	1,79	3,56	2,141	1,66

I	1,9/1,5	0,38	0,358	1,06	0,889	1,008	0,88	1,143	1,365	0,84	1,78	1,858	0,96
II	1,9/1,6	0,38	0,358	1,06	1,016	1,008	1,008	1,27	1,365	0,93	1,905	1,858	1,02
III	2,25/1,9	0,508	0,358	1,42	1,143	1,008	1,13	1,524	1,365	1,17	2,28	1,858	1,23
IV	2,6/2,25	0,508	0,358	1,42	1,143	1,008	1,13	1,78	1,365	1,30	2,67	1,858	1,44
V	3,1/2,6	0,508	0,424	1,2	1,27	1,088	1,17	1,78	1,415	1,25	2,54	2,141	1,19
VI	3,5/3,1	0,635	0,424	1,5	1,524	1,088	1,40	2,16	1,415	1,53	2,92	2,141	1,34
VII	4,2/3,7	0,635	0,424	1,5	1,905	1,139	1,67	2,54	1,415	1,79	3,56	2,141	1,66

**Примечание.** \*в числителе значения  $\lambda_3$  приведены для ВЛ 35 кВ, в знаменателе – для ВЛ 110-750 кВ; \*\* $K = \frac{l_{иг}}{l_{ин}}$

Таблица 2 – Изоляционная длина и 50%-ное импульсное разрядное напряжение ( $U_{50\%}$ ) гирлянд и полимерных изоляторов 35-220 кВ, устанавливаемых в зонах VII СЗА

Показатель	35 кВ	110 кВ	150 кВ	220 кВ
Изоляционная длина $l_{ин}$ , см	$\frac{63,50}{35,80}$	$\frac{190,5}{100,8}$	$\frac{254,0}{141,1}$	$\frac{356,0}{214,1}$
50%-ное импульсное разрядное напряжение (длина волны 1,2/50, положительная полярность), кВ	$\frac{580}{276}$	$\frac{1068,7}{614}$	$\frac{1411,6}{824}$	$\frac{1962,4}{1203}$

**Примечание.** Цифры в числителе относятся к гирляндам, в знаменателе – к полимерным изоляторам.

Это связано с высокими гидрофобными свойствами и отличающейся конфигурацией силиконовой защитной оболочкой у полимерных изоляторов, обуславливающими их высокие влагоразрядные градиенты и, следовательно, возможность сокращения изоляционной длины при выборе линейных размеров по нормальному эксплуатационному режиму. Из табл. 2 видно, что импульсные разрядные характеристики полимерных изоляторов в районе VII СЗА в 1,6-2,1 раз уступают гирляндам тарельчатых изоляторов. Разница в значениях  $U_{50\%}$  при импульсных перенапряжениях должна влиять на показатели грозоупорности ВЛ с установленными полимерными изоляторами. Для

оценки грозоупорности ВЛ с полимерными и стеклянными изоляторами были проведены расчеты удельного числа грозовых отключений от разрядного расстояния подвесок, установленных в различных зонах СЗА. Путем обработки данных, приведенных в [4], получено эмпирическое выражение для расчета удельного числа грозовых отключений на однотипных опорах в зависимости от изоляционной длины подвесок  $\ell_{и}$ . Для ВЛ на стальных опорах башенного типа с одним грозозащитным тросом эмпирическое выражение зависимости удельного числа грозовых отключений  $n_r$  от изоляционной длины подвески  $\ell_{и}$  имеет вид:

$$n_r = a \times e^{b \times \ell_{и}} \quad (1)$$

где  $\ell_{и}$  – изоляционная длина подвески,  $a = 38,904$ ,  $b = -0,694$ . По формуле (1) проведен расчет грозоупорности ВЛ 110 кВ с подвеской, выполненной из гирлянды стеклянных изоляторов ПС 70Е и ПСД 70 и полимерных изоляторов типа ЛК 70/110 для различных СЗА. Данные расчетов приведены в таблице 3 и показаны на рис.3.

Таблица 3 – Расчетные значения удельного числа грозовых отключений для ВЛ 110 кВ с гирляндами стеклянных и полимерных изоляторов (районы I-VII СЗА)

СЗ А	$\lambda_{э}$ , см/кВ	Обозначение изолятора	Кол-во в гирлянде, шт.	Изоляционная длина $\ell_{и}$ , м	Длина пути утечки $L$ , см	$+U_{50\%}$ , кВ	$n_r$
I	1,5	ПС 70Е	7	0,889	212,1	520,0	30,49
		ЛК 70/110-3	1	1,008	264,0	614,2	23,97
II	1,6	ПС 70Е	8	1,016	242,4	588,6	21,30
		ЛК 70/110-3	1	1,008	264,0	614,2	23,97
III	1,9	ПС 70Е	9	1,143	272,4	657,2	18,10
		ЛК 70/110-3	1	1,008	264,0	614,2	23,97
IV	2,25	ПСД 70	9	1,143	355,5	657,2	18,10
		ЛК 70/110-4	1	1,008	252,0	614,2	23,97
V	2,6	ПСД 70	10	1,270	395,0	725,8	14,80
		ЛК 70/110-7	1	1,088	345,0	655,8	20,48
VI	3,1	ПСД 70	12	1,524	474,0	862,8	13,99

		ЛК 70/110-7	1	1,088	345,0	655,8	20,48
VII	3,7	ПСД 70	15	1,905	592,5	1068,7	10,38
		ЛК 70/110-7	1	1,088	345,0	655,8	20,48

**Примечание.** Опоры стальные башенного типа с одним грозозащитным тросом;  $R_3 = 30$  Ом; расчет на 100 км и 100 гроз. час. в год; при определении  $n_{пр}$  использовались характеристики, полученные при отрицательной полярности импульса.

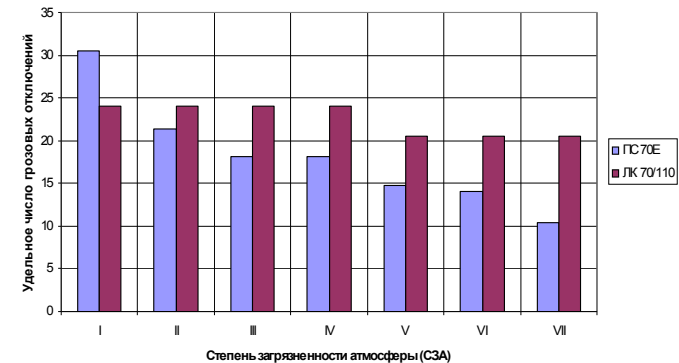


Рис. 3 – Расчетные значения удельного числа грозовых отключений для ВЛ 110 кВ с гирляндами стеклянных и полимерных изоляторов

Как и следовало ожидать, расчетное удельное число грозовых отключений  $n_r$ , начиная с III СЗА, для ВЛ с полимерными изоляторами превышает  $n_r$  для ВЛ с гирляндами стеклянных изоляторов. Для района VII СЗА расчетное превышение грозовых отключений для линий с полимерными изоляторами составляет 1,97 раз. Это означает, что в районах сильных загрязнений при смешанной установке на линии стеклянных гирлянд и полимерных подвесок при грозовых поражениях ВЛ будут перекрываться преимущественно полимерные изоляторы.

Нужно отметить известный факт, что на линиях 110 кВ и выше на металлических опорах вероятность перехода импульсного перекрытия изолятора в дуговое весьма велика и составляет 0,9-1,0. За время действия защитного отключения (5 – 6 периодов) возможно частичное повреждение полимерной оболочки в зоне действия опорных точек дугового разряда. Опорные точки дуговых разрядов располагаются, как правило, либо на экранных кольцах, либо на поверхности оболочки изолятора вблизи металлических оконцевателей.

На основании изложенного вытекает необходимость осуществления координации полимерных и стеклянных/фарфоровых изоляторов по импульсной прочности (с учётом интенсивности грозовой деятельности и степени загрязнения атмосферы).

Для решения вопросов координации были проведены два вида испытаний:

1) одновременным воздействием грозового импульса напряжения с формой волны 1,2/50 мкс (Рис. 4-5) на параллельно подвешенные гирлянды тарельчатых и полимерных изоляторов; в этом виде испытаний изменением соотношения изоляционных длин гирлянды ( $l_{гр}$ ) и полимерного изолятора ( $l_{ип}$ ) подбиралась равнопрочность подвесок для обеспечения одинаковой грозоупорности участков линии с полимерными изоляторами и стеклянными гирляндами.

2) для подвесок дополнительно определялись вольт-секундные характеристики обеих полярностей импульса при малых значениях предразрядного времени  $T_c$ .

Фрагменты испытаний подвесок показаны на рисунках 4 - 7.

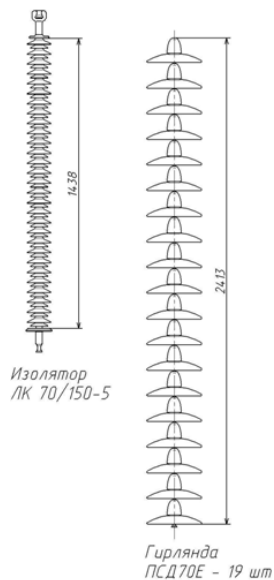


Рис. 4 – Габаритные размеры гирлянды из стеклянных изоляторов ПСД 70Е и полимерного изолятора ЛК 70 – 150 – 5



Рис. 5 – Перекрытие полимерного изолятора ЛК 70 – 150 – 5 при параллельном подключении гирлянды и полимерного изолятора к источнику импульсного напряжения.

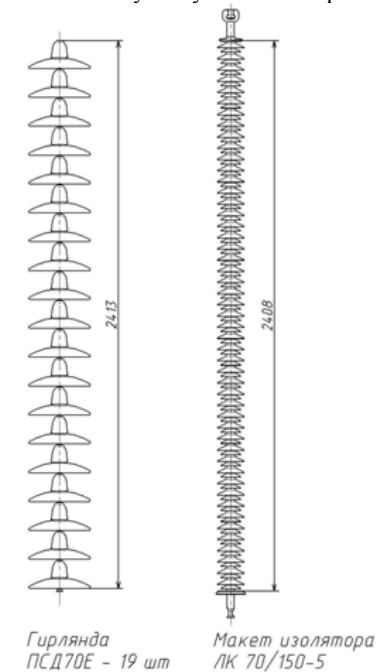


Рис. 6 – Габаритные размеры гирлянды из стеклянных изоляторов ПСД 70Е и макета удлиненного полимерного изолятора ЛК 70 – 150 – 5.



Рис. 7 – Перекрытие гирлянды стеклянных изоляторов при параллельном подключении гирлянды и макета удлиненного полимерного изолятора к источнику импульсного напряжения.

Обработка результатов исследований разрядных характеристики подвесок показала, что равнопрочность достигается при следующих соотношениях изоляционных длин: 5СЗ - ВЛ 150кВ,  $l_{инп} = 0,96 \times l_{иг}$ ; 3СЗ - ВЛ150 кВ,  $l_{инп} = 0,97 \times l_{иг}$ ; 5СЗ- ВЛ 110 кВ,  $l_{инп} = 0,97 \times l_{иг}$ ; 5СЗ- ВЛ 110 кВ,  $l_{инп} = 0,99 \times l_{иг}$ , где  $l_{инп}$  - изоляционная длина полимерного изолятора,  $l_{иг}$  - изоляционная длина гирлянды 19×ПСД 70Е. Сопоставление вольт-секундных характеристик (ВСХ) гирлянды стеклянных и полимерных изоляторов (рис. 8) показало, что начиная с времени разряда  $T_c = 2$  мкс и меньше, ВСХ полимерных изоляторов значительно круче, чем у гирлянд. Учитывая более крутой рост разрядного напряжения полимерных изоляторов при  $T_c < 2$  мкс, можно с некоторым допущением соотношение  $l_{инп} / l_{иг}$  уменьшить до 0,9, приняв его в виде:

$$l_{инп} = 0,9 \times l_{иг}. \quad (2)$$

Таким образом, для обеспечения одинаковой грозоупорности полимерной и традиционной изоляции для районов с сильным загрязнением (3-5 СЗ) полимерную изоляцию нужно усиливать путем увеличения её изоляционной длины.

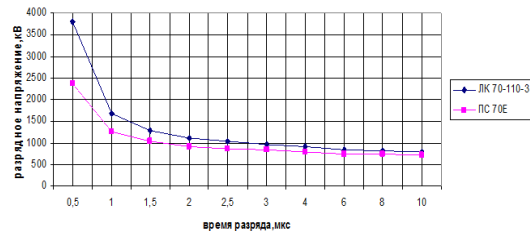


Рис. 8 – Сравнение вольт-секундных характеристик полимерного изолятора ЛК 70-110-3 и гирлянды 8×ПС 70Е, полярность +, в сухом состоянии

Возможны два варианта решения:

1. Разработать новые полимерные изоляторы грязеустойкого исполнения повышенной грозоупорности, увеличив изоляционную длину изолятора до  $l_{инп} = 0,9 \times l_{иг}$ , сохранив при этом длину пути утечки ( $l_3$ ) на уровне нормативных значений согласно ПУЭ:2006, глава 1.9.

2. В загрязненных районах применять полимерную подвеску с изоляторами на один класс напряжения выше, как показано в табл. 4

Таблица 4 – Рекомендации относительно выбора класса напряжения изоляторов

СЗ	Класс напряжения сети, кВ		
	110	150	220
3	ЛК 70-110-5Ц $l_{инп} = 1,139$ м заменяет 10×ПСД 70Е $l_{инп} = 1,127$ м	ЛК 70-220-2Ц $l_{инп} = 1,847$ м заменяет 14×ПСД 70Е $l_{инп} = 1,778$ м	ЛК 70-330-2Ц $l_{инп} = 2,62$ м заменяет 19×ПСД 70Е $l_{инп} = 2,413$ м
5	ЛК 70-220-2Ц $l_{инп} = 1,847$ м заменяет 14×ПСД 70Е $l_{инп} = 1,778$ м	ЛК 70-330-2Ц $l_{инп} = 2,62$ м заменяет 19×ПСД 70Е $l_{инп} = 2,413$ м	2×ЛК 70-220-2Ц $l_{инп} = 3,694$ м заменяет 29×ПСД 70Е $l_{инп} = 3,683$ м

Учитывая повышение стоимости полимерной изоляции, усиленной по грозостойкости, ее применение в каждом конкретном случае должно сопровождаться специальным обоснованием, принимая во внимание следующие факторы: отсутствие на ВЛ грозозащитного троса; величину ущерба, нанесенного предприятию-потребителю электроэнергии в результате простоев, связанных с грозопоражением изоляции ВЛ и др.

**Список литературы:** 1. Александров Г.Н. Электрическая прочность наружной высоковольтной изоляции / Г.Н. Александров, В.Л. Иванов, В.Е. Кизеветтер. – Л. : Энергия, 1969. – 240 с. 2. ГКД 34.51.101-96 Инструкция по выбору и эксплуатации внешней изоляции электроустановок 6-750 кВ на предприятиях Минтопэнерго Украины. 3. Шидловский А.К. Высоковольтные полимерные изоляторы / А.К. Шидловский, Ю.Н. Шумилов, А.А. Щерба, В.М. Золотарев. – К. : Сучасність, 2008. – 252 с. 4. РД 34.35.125-93 Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений. – Сп.: ПЭИПК Минтопэнерго РФ, 1999. – 353 с.

Надійшла до редколегії 2013

УДК 621.315

**Импульсная электрическая прочность полимерных стержневых и гирлянд тарельчатых изоляторов в зоне сильных загрязнений / Ю. Н. Шумилов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. – Х. : НТУ «ХПІ», 2013. – № 59 (1032). – С. 154–163. – Бібліогр.: 4 назв.**

Показано, що на ділянках ВЛ в зоні сильних забруднень характеристики імпульсної електричної міцності полімерних стержневих і гирлянд тарільчастих ізоляторів мають бути скоординовані.

**Ключові слова:** імпульсна розрядна напруга, грозові відключення, скляні ізолятори.

It is shown that on the part of HV transmission line in the area of strong contaminations character of impulsive electric durability of polymeric cored and assembly of glass insulators must be co-ordinated.

**Keywords:** impulse discharge voltage, thunderstorm disconnections, glass insulators.

УДК 621.314

**О. В. ШУТЕНКО**, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПІ»;  
**В. Б. АБРАМОВ**, канд. техн. наук, доц., НТУУ «КПІ», Киев;  
**Д. Н. БАКЛАЙ**, ассистент, НТУ «ХПІ»;

### **АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ХРОМАТИГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА РАСТВОРЕННЫХ В МАСЛЕ ГАЗОВ**

В статье рассмотрены основные проблемы интерпретации результатов хроматографического анализа растворенных в масле газов, в том числе факторы, которые влияют на достоверность диагноза, поставленного по результатам анализа растворенных в масле газов. Сформулированы основные направления повышения достоверности интерпретации результатов хроматографического анализа растворенных в масле газов.

**Ключевые слова:** Хроматографический анализ, граничные значения, отношения пар газов, частичные разряды, развивающийся дефект.

**Постановка проблемы.** Хроматографический анализ растворенных в масле газов (ХАРГ) является одним из наиболее распространенных видов неразрушающего диагностирования состояния маслonaполненного оборудования. Данный метод разработан в начале 70-х годов прошлого века в Англии, и с того момента нашел широкое применение в большинстве развитых стран. В настоящее время все крупные энергетические компании и трансформаторостроительные фирмы широко применяют ХАРГ, используя при этом различные системы оценки и определения типа дефекта трансформатора. Несмотря на имеющийся положительный опыт применения ХАРГ, существуют и целый ряд проблем, которые возникают при оценке состояния высоковольтного маслonaполненного оборудования с использованием данного метода. В связи с этим возникает необходимость рассмотрения основного спектра таких проблем, и путей их решения.

**Анализ публикаций.** В работе [1] отмечается, что выводы, полученные на основе интерпретации результатов ХАРГ, имеют значительный элемент неопределенности. Так по превышению граничных концентраций газов можно судить лишь о возможном развитии дефекта. Определенная степень нечеткости ХАРГ имеет место и при определении типа дефекта, и самое главное при принятии решений о дальнейших действиях, в случае обнаружения дефекта. Как отмечается в [2], с целью выявления местонахождения дефектов и

© О. В. Шутенко, В. Б. Абрамов, Д. М. Баклай, 2013