

продукции // Электротехника і електромеханіка. 2013., № 2013/4., С 54–59; 6. ГОСТ 5960-72 Пластикат поливинилхлоридный для изоляции и защитных оболочек проводов и кабелей. Технические условия; 7. ГОСТ 6433.1 – 71 (СТ СЭВ 2121-80) Материалы электроизоляционные твердые. Условия окружающей среды при нормализации, кондиционировании и испытании; 8. ГОСТ 6433.2 – 71 (СТ СЭВ 2121-80) Материалы электроизоляционные твердые. Методы определения электрических сопротивлений при постоянном напряжении; 9. ГОСТ 6433.4 – 71 (СТ СЭВ 3164-80) Материалы электроизоляционные твердые. Методы определения тангенса угла диэлектрических потерь и диэлектрической проницаемости при частоте 50 Гц.

Bibliography (transliterated): 1. Gorenje, destrukcija i stabilizacija polimerov pod redakciej d-ra him. nauk Zaikova G. E. NOT. Sankt-Peterburg, 2008; 2. Chuleeva E. V., Chuleev V. L., Zolotarev V. M., Vasilec L. G. Kompozicionnye materialy na osnove polivinilhlorida. Teplofizicheskie, reologicheskie i jelektrofizicheskie svojstva. *Himichna promislovist' Ukraini*. 2011. No 6. 48–54 Print. 3. DSTU EN 50363-3:2010 Materiali dlja izoljacii, obolonok i zovnishnih pokriviv niz'konapruzhhnih silovih kabeliv. Chastina 3. PVH izoljacionni kompozicii (EN 50363-3:2005, IDT); 4. EN 50395:2005 Electrical test methods for low voltage energy cables; 5. Zolotarev V. M., Chuleeva E. V., Chuleev V. L. Regulirovanie svojstv kompozicij na osnove polivinilhlorida s ispol'zovaniem stabilizatorov, ne sodержashhijh svinec, dlja izoljacii kabel'noj produkcii. *Elektrotehnika i elektromehanika*. 2013. No 4. 54–59 Print. 6. ГОСТ 5960-72 Пластикат поливинилхлоридный для изоляции и защитных оболочек проводов и кабелей. Технические условия; 7. ГОСТ 6433.1 – 71 (СТ СЭВ 2121-80) Материалы электроизоляционные твердые. Условия окружающей среды при нормализации, кондиционировании и испытании; 8. ГОСТ 6433.2 – 71 (СТ СЭВ 2121-80) Материалы электроизоляционные твердые. Методы определения электрических сопротивлений при постоянном напряжении; 9. ГОСТ 6433.4 – 71 (СТ СЭВ 3164-80) Материалы электроизоляционные твердые. Методы определения тангенса угла диэлектрических потерь и диэлектрической проницаемости при частоте 50 Гц.

Надійшла (received) 08.03.2014

УДК 621.315

Ю.Н.ШУМИЛОВ, докт. техн. наук, проф., зам. директора ГП «НИИВН», Славянск

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ВЫБОРА И ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ДЛЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

В статье показана необходимость корректировки действующей в Украине нормативной документации (НД), касающейся выбора и эксплуатации полимерной изоляции, в частности, по вопросу выбора длины пути утечки в загрязненных районах и по обновлению требований к испытательным напряжениям грозового и коммутационного импульса. Рекомендуются в данной статье скорректированные импульсные испытательные напряжения, а также изоляционная длина полимерных изоляторов позволят обеспечить их более надежную работу в электрических сетях и повысить конкурентоспособность на внешнем и внутреннем рынках.

Ключевые слова: линейные полимерные изоляторы, нормативная документация, степень загрязнения атмосферы, длина пути утечки, испытательные напряжения, грозовой и коммутационный импульсы.

С момента внедрения первых промышленных партий полимерных изоляторов в Украине прошло 27 лет (с 1985 г.).

Накопленный за это время опыт эксплуатации выявил ряд проблемных вопросов в части их выбора и применения. Одним из таких вопросов является необходимость доработки и пересмотра ряда разделов нормативной документации. В настоящем докладе затронуты следующие вопросы:

1. О необходимости приведения в соответствие старых и новых норм по загрязнению атмосферы (СЗА и СЗ), прямым образом влияющих на выбор изоляции.
2. О необходимости корректировки импульсных разрядных напряжений.

Рассмотрим вкратце данные вопросы.

1. О необходимости приведения в соответствие старых и новых норм по загрязнению атмосферы

Отправной точкой выбора внешней изоляции электрооборудования является определение степени загрязнения атмосферы (СЗА или СЗ) в месте расположения воздушной линии. Степени загрязнения определяют по картам уровней изоляции (региональным или локальным), составленным на основе натурных исследований и опыта эксплуатации. По установленной степени

© Ю. Н.Шумилов, 2014

загрязнения из таблиц находят нормированное значение удельной эффективной длины пути утечки λ_3 , и далее рассчитывают геометрическую длину пути утечки изолятора.

Ситуация сложилась так, что в настоящее время по выбору изоляции ВЛ на территории Украины одновременно действуют два нормативных документа: ГKD 34.51.101-96 «Инструкция по выбору и эксплуатации внешней изоляции электроустановок 6-750 кВ на предприятиях Минэнерго Украины» и глава 1.9 «Внешняя изоляция электроустановок» ПУЭ:2006.

По условию работы изоляции в ГKD 34.51.101 установлено 7 степеней загрязнения атмосферы: I, II, III, IV, V, VI, VII, обозначаются СЗА.

Позднее в главе 1.9 ПУЭ устанавливается 5 степеней загрязнения атмосферы: 1, 2, 3, 4, 5, и обозначаются СЗ, причем соответствие между СЗА и СЗ до сих пор официально не узаконено.

Введение новой градации степеней загрязнения в главе 1.9 ПУЭ:2006 было обусловлено необходимостью гармонизации с действующими международными стандартами, в частности, с МЭК 815 «Руководство по выбору изоляторов в загрязненных районах», с российским изданием главы ПУЭ «Изоляция электроустановок», а также с ГОСТ 9920-89 «Электроустановки переменного тока на напряжение от 3 до 750 кВ. Длина пути утечки внешней изоляции», в которых нормируется 4 степени загрязнения атмосферы.

На основании вышеизложенного в главе «Внешняя изоляция электроустановок» также были приняты 4 зоны загрязнения атмосферы с удельной проводимостью слоя загрязнения 5; 10; 20; 30 мкСм. Кроме того, дополнительно была введена 5-я особая зона, соответствующая VII СЗА по ГKD 34.51.101.

Новым является и то, что в главе 1.9 ПУЭ:2006 для внешней изоляции ВЛ и внешней изоляции ОРУ приняты одинаковые нормированные значения удельной эффективной длины пути утечки λ_3 , в то время как в ГKD 34.51.101 значения λ_3 для ВЛ и ОРУ отличаются, причем в ГKD λ_3 отличается также для ВЛ 110-220 кВ и ВЛ 330-750 кВ.

Действие двух документов с различными нормативными требованиями вызывает неопределенность и путаницу при выборе изоляции.

С целью исключения недоразумений при работе и выборе внешней изоляции вновь проектируемых электроустановок необходимо узаконить таблицу соотношений между характеристиками

СЗА, указанными в ГKD 34.51.101, и характеристиками СЗ, приведенными в главе 1.9 ПУЭ:2006.

ГП «НИИВН» рекомендует руководствоваться соотношениями, приведенными в табл. 1.

Таблица 1 – Соотношение степеней загрязнения атмосферы

Степень загрязнения атмосферы					
ГKD 34.51.101 -96			ПУЭ:2006, глава 1.9		
СЗ	λ_3 , см/кВ, не менее, при номинальном напряжении В ОРУ		СЗ	λ_3 , см/кВ, не менее, при номинальном напряжении В ОРУ	
	до 35 кВ включительно	110-750 кВ		до 35 кВ включительно	110-750 кВ
I	1,90	1,50	1	1,90	1,60
II	1,90	1,50			
III	2,25	1,80			
IV	2,60	2,25	2	2,35	2,00
V	3,10	2,60			
VI	3,50	3,10	4	3,50	3,10
VII	4,20	3,50			
			5	4,20	3,70

Затем необходимо осуществить переработку ГKD 34.51.101, скоординировав его положения с соответствующими положениями главы 1.9 ПУЭ:2006.

При определении соответствия СЗА и СЗ рассматривался вопрос об отнесении IV СЗА ко второй либо третьей СЗ. При совместном обсуждении данного вопроса с энергопредприятиями, в частности, Донбассэнерго, было принято решение отнести IV СЗА к 2 СЗ.

Целесообразность принятого отнесения можно пояснить с помощью условной диаграммы количества линий, проходящих по загрязненным районам, рис. 1.

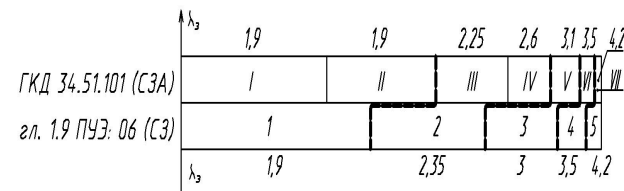


Рис. 1 Условная диаграмма количества воздушных линий (прямоугольники), проходящих по районам с различной степенью загрязнения

Из диаграммы следует, что количество участков линий, проходящих по загрязненным районам, значительно меньше, чем в относительно чистых районах, поэтому, перевод IV СЗА в третью СЗ, сопровождающееся значительным увеличением удельной эффективной длины пути утечки l_{Σ} , может привести к существенному удорожанию изоляции ВЛ. Наоборот, при переводе IV СЗА во вторую СЗ при относительно небольшом снижении l_{Σ} затраты снизятся. При этом по энергосистеме в целом такой перевод не отразится на удельном количестве отказов, поскольку произойдет выравнивание показателя за счет усиления изоляции III СЗА при переводе её во вторую СЗ.

Таблицу 1 необходимо официально узаконить, например, в подлежащем переработке ГКД 34.51.101.

Для большинства ныне действующих ВЛ и ОРУ СЗА и, соответственно, уровень изоляции были определены в 70-х – 80-х годах, и с тех пор не пересматривались. Поэтому для изоляции, имеющей к настоящему времени положительный опыт эксплуатации (количество перекрытий и повреждений изоляции меньше нормативного уровня и т.д.), и при отсутствии в данном районе новых источников загрязнения, приведение уровней изоляции в соответствие с нормами, регламентируемыми новой редакцией главы 1.9 ПУЭ, не требуется.

Вместе с тем, при плановой замене внешней изоляции (линейной, подстанционной) следует предусматривать меры по ее усилению до требуемого уровня, регламентируемого главой 1.9 ПУЭ. Если же это по каким-либо причинам не представляется возможным, то согласно разделу 1.9.22 ПУЭ должно быть предусмотрено проведение дополнительных профилактических мероприятий.

2. О необходимости корректировки импульсных испытательных напряжений

При анализе требований к испытательным напряжениям грозовых и коммутационных импульсов, заложенных в действующих стандартах на полимерные изоляторы - ГОСТ 28856 и СОУ МПЕ 40.1.51.301, обращает на себя внимание факт менее жестких требований по испытательным напряжениям по сравнению с аналогичной продукцией зарубежных фирм, рисунок 2; это создает ситуацию неконкурентоспособности полимерных изоляторов по сравнению с зарубежными, и может привести к снижению их надежности. Об этом уже указывалось в [1].

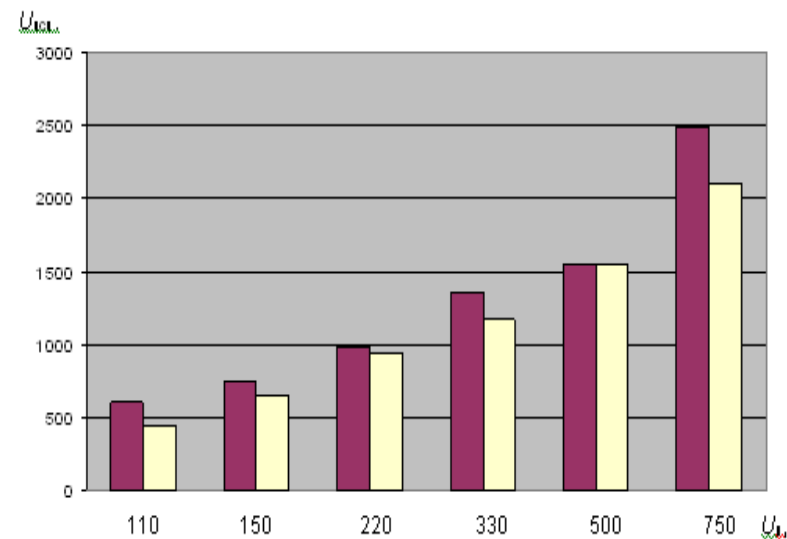


Рис. 2 Испытательные напряжения грозового импульса для полимерных изоляторов по зарубежным данным (затемнённые прямоугольники) и по ГОСТ 28856 и СОУ МПЕ 40.1.51.301

Экспериментальные данные об импульсных разрядных напряжениях изолирующих подвесок линейных изоляторов отрывочны и не систематизированы.

Для создания базы данных и систематизации разрядных напряжений для гирлянд тарельчатых и полимерных изоляторов в ГП «НИИВН» в разное время были проведены испытания подвесок импульсными напряжениями 1,2/50 мкс и 250/2500 мкс положительной и отрицательной полярности, в сухом состоянии и под дождем. При анализе результатов дополнительно использованы результаты испытаний, выполненные в ВЭИ [2].

Систематизация полученных результатов, по нашему мнению, может быть наилучшим образом представлена в виде эмпирических выражений $U_{50\%}=f(l_{ин}, l_{ит})$. В таблицах 2 и 3 приведены 50 %-ные разрядные напряжения гирлянд тарельчатых и полимерных изоляторов, выраженные в большинстве случаев в виде линейных функций от изоляционной длины гирлянды $l_{ин}$ и изоляционной длины полимерного изолятора $l_{ит}$

Таблица 2 – 50 %-ные разрядные напряжения для гирлянд стеклянных изоляторов (ПС 70Е, ПС 120Б)

Тип воздействия перенапряжения	50 %-ные разрядные напряжения для гирлянд стеклянных изоляторов				
	полярность импульса	в сухом состоянии	σ , %	под дождем	σ , %
Грозовые импульсы 1,2/5 мкс	+	$U_{50\%} = 38,6 + 525,4 \cdot \ell_{г}$	3	–	–
	–	$U_{50\%} = 46,1 + 564 \cdot \ell_{г}$	3	–	–
Коммутационные импульсы 250/2500 мкс	+	$U_{50\%} = 46,3 + 415,2 \cdot \ell_{г}$	3–4	$U_{50\%} = 27 + 380 \cdot \ell_{г}$	3–4
	–	$U_{50\%} = 138,7 + 532,5 \cdot \ell_{г}$	2, 1–2, 3, 6	$U_{50\%} = -4,3 + 420,7 \cdot \ell_{г} - 3,6 \cdot \ell_{г}^2$	2, 1–2, 4

* Функция $U_{50\%}(\ell_{г})$ имеет нелинейный характер.

Таблица 3 – 50 %-ные разрядные напряжения линейных стержневых полимерных изоляторов (ЛК 70, ЛК 120, ЛК 160)

Тип воздействия перенапряжений	50 %-ные разрядные напряжения для полимерных изоляторов, кВ				
	полярность импульса	в сухом состоянии	σ , %	под дождем	σ , %
Грозовые импульсы 1,2/5 мкс	+	$U_{50\%} = 90 + 520 \cdot \ell_{ин}$	2-3	$U_{50\%} = 90 + 520 \cdot \ell_{ин}$	–
	–	$U_{50\%} = 200 + 490 \cdot \ell_{ин}$	2-3	$U_{50\%} = 230 + 370 \cdot \ell_{ин}$	–
Коммутационные импульсы 250/2500 мкс	+	$*U_{50\%} = 1390 \cdot \ell_{ин}^{0,45} - 820$	6	$U_{50\%} = 140 + 400 \cdot \ell_{ин}$	6
	–	$U_{50\%} = 160 + 530 \cdot \ell_{ин}$	4-6	$U_{50\%} = 235 + 285 \cdot \ell_{ин}$	4–6

* Функция $U_{50\%}(\ell_{ин})$ имеет нелинейный характер.

Согласно [3, 4, 5] при грозовых перенапряжениях в силу их особой кратковременности (до 10^{-4} секунд) увлажнение дождем не влияет на поверхностную электрическую прочность стеклянных гирлянд, поэтому строки 1 и 2 в колонках 5 и 6 таблицы 2 не заполнены.

В этом отношении отличаются полимерные изоляторы с силиконовыми ребрами. По причине высокой гидрофобности силиконовой резины влага при дожде собирается в капли, искажая электрическое поле на поверхности изолятора, что приводит к снижению мокроразрядных напряжений при коммутационных

импульсах отрицательной полярности, см. табл. 3. При положительной полярности импульса снижение разрядных напряжений под дождем менее выражено.

Представленные в таблицах 2 и 3 экспериментальные результаты позволяют путем простейших вычислений сопоставлять разрядные напряжения изоляторов любой изоляционной длины в зависимости от условий испытаний.

Пользуясь расчетными выражениями, приведенными в таблицах 2 и 3, для сравнения были вычислены 50 %-ные разрядные напряжения гирлянд стеклянных и полимерных изоляторов для двух характерных изоляционных длин: 1 м и 3 м и для различных условий испытания, табл. 4.

Таблица 4 – 50 %-ные разрядные напряжения полимерных изоляторов ЛК и гирлянд стеклянных изоляторов ПСД 70Е в зависимости от условий испытаний и длины подвески

Вид испытания	Полярность импульса	Состояние изолятора	Изоляционная длина 1 м		Изоляционная длина 3 м	
			полимерный изолятор	гирлянда	полимерный изолятор	гирлянда
Грозовой импульс 1,2/50 мкс	+	в сухом состоянии	610	564	1650	1615
	–	в сухом состоянии	690	610	1670	1738
	+	под дождем	610	564	1650	нет данные
	–	под дождем	600	610	1340	–
Коммутационный импульс 250/2500 мкс	+	в сухом состоянии	570	461	1459	1292
	–	в сухом состоянии	690	671	1750	1736
	+	под дождем	540	407	1340	1167
	–	под дождем	520	393	1090	1045

Из таблицы 4 следует:

1. При всех видах проведенных импульсных испытаний полимерные изоляторы одинаковой длины с гирляндами в большинстве случаев имеют более высокие значения разрядных напряжений.

2. При воздействии грозových импульсов отрицательной полярности под дождем происходит снижение разрядных напряжений, причём с ростом изоляционной длины изолятора снижение возрастает.

3. При воздействии коммутационных импульсов обеих полярностей под дождем происходит снижение разрядных напряжений, как у гирлянд, так и у полимерных изоляторов, причём при отрицательной полярности импульса наблюдается большее снижение разрядного напряжения, чем при положительной полярности.

4. Значительное снижение разрядных напряжений коммутационного импульса отрицательной полярности под дождем (до 60%) указывает на необходимость уточнения испытательных напряжений коммутационного импульса.

2.1 Испытательные напряжения коммутационных импульсов

В стандартах на полимерные изоляторы ГОСТ 28856-90 отсутствуют испытания коммутационным импульсом под дождем, а в СОУ МПЕ 40.1.51.301:204 значения испытательных напряжений под дождем заимствованы из ГОСТ 1516.3-96, который не распространяется на изоляцию линий электропередачи. В то же время, выявленное значительное снижение разрядных напряжений коммутационного импульса под дождем (см. таблицу 4) указывает на необходимость корректировки и введения в нормативную документацию испытаний данного типа.

Расчет необходимых испытательных напряжений коммутационного импульса производился по следующей методике. Первоначально определялось расчетное 50 %-ное напряжение отдельной подвески $U_{50\%(1)}$.

Согласно [5] для обеспечения требуемой надежности ВЛ расчетное 50 %-ное напряжение отдельной подвески $U_{50\%(1)}$ при коммутационных импульсах должно быть не менее чем:

$$U_{50\%(1)} = \frac{K_{np} \cdot U_{np} \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{1-t(n) \cdot \sigma^*} \cdot \frac{1}{K_p}, \quad (1)$$

где K_{np} – расчётная кратность перенапряжений;

σ^* – относительная величина среднеквадратичного отклонения разрядных напряжений линейной изоляции; при коммутационных импульсах под дождем $\sigma^* \sim 0,06$;

n – число одновременно установленных изоляционных подвесок на воздушной линии; t – относительная величина аргумента функции нормального распределения разрядных напряжений, обеспечивающая требуемую надежность изоляции ВЛ;

K_p – коэффициент, учитывающий уменьшение электрической прочности изолятора на расчетной высоте установки ВЛ, $K_p = 0,95$.

После определения $U_{50\%(1)}$ вычислялось требуемое выдерживаемое (испытательное) напряжение по известному выражению, приведённому в ГОСТ 1516.2:

$$U_{исп.к.} = U_{50\%(1)} \cdot (1-1,3 \cdot \sigma^*),$$

В выражении (1) первый сомножитель представляет собой расчетную амплитуду коммутационных импульсов при нормированных кратностях перенапряжений:

$$U_{к.п.} = \frac{K_{np} \cdot U_{np} \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{3}}$$

Второй сомножитель в формуле (1) представляет статистический коэффициент запаса разрядного напряжения, учитывающий допустимое число перекрытий изоляции при коммутационных перенапряжениях (0,1 перекрытие в год на 100 км ВЛ), число изоляторов на ВЛ, количество опасных увлажнений в течение года и другие неблагоприятные факторы, влияющие на электрическую прочность изолятора:

$$K_3 = \frac{1}{1-t(n) \cdot \sigma^*} \cdot \frac{1}{K_p}$$

Многочисленными исследованиями и технико-экономическими расчетами показано, что коэффициент запаса K_3 для изоляции ВЛ 110-750 кВ при коммутационных перенапряжениях может быть принят в зависимости от величины U_n в пределах 1,3 ÷ 1,4 [5].

Таким образом, расчётную величину требуемых разрядных напряжений отдельных изоляторов, установленных на каждый класс напряжения ВЛ, определяли как:

$$U_{50\%(1)} = U_{к.п.} \cdot K_3$$

Экспериментальное значение $U_{50\%(1)}$ под дождем при отрицательной полярности импульса в зависимости от изоляционной длины $l_{инп}$ определяли из эмпирического выражения, полученного опытным путем:

$$U_{50\%(1)} = 235 + 285 \cdot l_{инп}, \quad (2)$$

В таблице 5 приведены расчетные и экспериментальные значения $U_{50\%(1)}$ для полимерных изоляторов (под дождем, импульс отрицательной полярности с формой волны 250/2500 мкс), а также выдерживаемые (испытательные) значения коммутационного импульса при этих же видах воздействий.

Таблица 5 - Расчетные и экспериментальные значения $U_{50\%(1)}$ для полимерных изоляторов (под дождем, отрицательная полярность импульса 250/2500 мкс)

U_n , кВ _д	35	110	150	220	330	500	750
$U_{нр}$, кВ _д	40,5	126	172	252	363	525	787
Минимальная изоляционная длина стандартных полимерных изоляторов $\ell_{инп}$, м	0,4	1,0	1,3	1,8	2,6	3,5	5,4
$K_{нр}$	3,5	3,1	3,0	3,0	2,7	2,5	2,1
K_3	1,31	1,31	1,31	1,31	1,35	1,31	1,39
$U_{к.п.}$, кВ _{max}	115,7	319,0	421,3	617,3	800,2	1071,6	1349,4
$U_{50\%(1)}$, кВ _{max} , расчетное значение (требуемое)	159,7	417,8	551,8	808,6	1080,3	1403,7	1875,7
$U_{50\%(1)}$, кВ _{max} , экспериментальное значение	349,0	520,0	605,5	748,0	976,0	1147,0	1774,0
Требуемое расчетное минимальное значение $\ell_{инп}$ по условию коммутационных перенапряжений (в знаменателе - округленное значение)	$\frac{0,4}{0,4}$	$\frac{0,67}{0,70}$	$\frac{1,21}{1,2}$	$\frac{2,01}{2,1}$	$\frac{2,96}{3,0}$	$\frac{4,1}{4,1}$	$\frac{5,75}{5,8}$
Предлагаемая величина $U_{исп.к.п.}$ под дождем, отрицательная полярность импульса, кВ _{max} знаменателе - округленное значение	-	-	-	$\frac{745,5}{750}$	$\frac{996}{1000}$	$\frac{1294}{1300}$	$\frac{1729,4}{1800}$
$U_{исп.к.п.}$ по СОУ МПЕ 40.1.51.301, кВ	-	-	-	620	950	1230	1550

Из таблицы 5 следует, что начиная с напряжения 220 кВ, расчетные требуемые значения разрядных напряжений линейной изоляции при воздействии коммутационных импульсов превышают фактические разрядные напряжения под дождем выпускаемых полимерных изоляторов стандартной длины. Отсюда следует

необходимость увеличения изоляционной длины полимерных изоляторов напряжением 220 кВ и более. Выводы по данному разделу:

1. В перечень нормированных испытательных напряжений полимерных изоляторов, начиная с 220 кВ и выше, необходимо включить испытания коммутационным импульсом положительной и отрицательной полярности под дождем, при этом испытательные напряжения рекомендуется принять, как указано в предпоследней строке табл. 5 (округлённые значения).

2. Минимальные значения изоляционной длины $\ell_{инп}$ для изоляторов 220 кВ и выше необходимо увеличить до расчетных значений, указанных в таблице 5, строка 9.

2.2 Испытательные напряжения грозовых импульсов

По правилам координации испытательные напряжения грозовых импульсов должны быть скоординированы с испытательными напряжениями коммутационных импульсов. Координация импульсных испытательных напряжений может быть осуществлена следующим образом. Если в полученное ранее эмпирическое выражение для 50 %-ного разрядного напряжения грозовых импульсов ($U_{50\%г} = 90 + 520 \cdot \ell_{инп}$, таблица 3) подставить значения $\ell_{инп}$, определённые по условию надёжной работы под дождем при коммутационных импульсах, мы получим скоординированные значения испытательных напряжений грозового импульса. Испытательные выдерживаемые напряжения грозового импульса в этом случае определяются как:

$$U_{выд.} = U_{50\%г} \times (1 - t \cdot \sigma^*),$$

где σ^* для грозового импульса с формой волны 1,2/50 мкс принимается равной 0,03.

В таблице 6 приведен расчет испытательных напряжений для полимерных изоляторов для классов напряжения 110-750 кВ.

Таблица 6 – Расчетные значения испытательных напряжений грозовых импульсов для полимерных изоляторов

U_n , кВ	110	150	220	330	500	750
$\ell_{инп}^*$, м	1,0	1,3	2,1	3,0	4,1	5,8
$U_{50\%г}$, кВ, 1,2 мкс	610	766	1182	1650	2222	3106
$U_{исп.к.п.}^{**}$, кВ, 1,2/50 мкс	$\frac{586,2}{590}$	$\frac{736}{740}$	$\frac{1135}{1200}$	$\frac{1586,6}{1600}$	$\frac{2135,3}{2200}$	$\frac{2984,8}{3000}$
$U_{исп.к.п.}$, кВ, по СОУ МПЕ 40.1.51.301	450	650	950	1175	1550	2100

* скорректированные в соответствии с табл. 5 номинальные значения $\ell_{инп}$ по условию коммутационных перенапряжений.

** в числителе приведены расчетные значения, в знаменателе – рекомендуемые.

Из таблицы 6 видно, что расчетные значения $U_{исп.}$ практически полностью совпадают с испытательными напряжениями по каталогам зарубежных фирм.

Заключение

Рекомендуемые в данной статье скорректированные импульсные испытательные напряжения, а также изоляционные длины полимерных изоляторов позволяют обеспечить их более надёжную работу в электрических сетях и повысить конкурентоспособность на внешнем и внутреннем рынках.

Список литературы: 1. Волкова О.В. Электрическая прочность линейных полимерных изоляторов для линий электропередачи высокого и сверхвысокого напряжения. Электрическая прочность внешней изоляции. Труды ВЭИ / О.В. Волкова, В.В. Годулян, А.Р. Корявин. - М.: «Знак», 2006. – 387 с. 2. Корявин А.Р. Волкова О.В. Импульсная электрическая прочность полимерных линейных изоляторов в сухом состоянии и при дожде / А.Р. Корявин, О.В. Волкова // Электротехника.- № 03/01, 2001. 3. Бидашко Г.Б. Разрядные характеристики стержневых полимерных изоляторов для воздушных линий 110-750 кВ. – Изоляция воздушных линий электропередачи 110-750 кВ. / Г.Б. Бидашко, Д.Г. Колкер, В.Н. Соломатов, Ю.Н. Яшин // Сборник научных трудов НИИПТ, 1989, С. 97-104. 4. Техника высоких напряжений : Учебник для вузов / Под ред. Г.С.Кучинского.- СПб.: Энергоатомиздат, 2003.- 608 с. 5. Александров Г.Н., Электрическая прочность наружной высоковольтной изоляции Г.Н. Александров, В.Л. Иванов, В.Е. Кизяветтер.- Энергия, ЛО, 1969.

Bibliography (transliterated): 1. Volkova O.V. Goduljan, V.V. Korjavin A.R. Jelektricheskaja prochnost' linejnyh polimernyh izoljatorov dlja linij jelektrperedachi vysokogo i sverhvyssokogo naprjazhenija. Jelektricheskaja prochnost' vneshnej izoljacji. Trudy VJeI. Moscow: «Znak», 2006. 2. Korjavin A.R. Volkova O.V. Impul'snaja jelektricheskaja prochnost' polimernyh linejnyh izoljatorov v suhom sostojanii i pri dozhdе / A.R. Korjavin, O.V. Volkova // Jelektrrotehnika.- № 03/01, 2001. 3. Bidashko G.B. Razrjadnye harakteristiki sterzhnevyyh polimernyh izoljatorov dlja vozdushnyh linij 110-750 kV. – Izoljacija vozdushnyh linij jelektrperedachi 110-750 kV. / G.B. Bidashko, D.G. Kolker, V.N. Solomatov, Ju.N. Jashin // Sbornik nauchnyh trudov NIIPТ, 1989, S. 97-104. 4. Tehnika vysokih naprjazhenij : Uchebnik dlja vuzov Pod red. G.S.Kuchinskogo.- SPb.: Energoatomizdat. 2003. 5. Aleksandrov G.N., Ivanov V.L., Kizjavetter V.E. Jelektricheskaja prochnost' naruzhnoj vysokovol'tnoj izoljacji. Jenergija. LO, 1969.

Надійшла (received) 12.14.2013

УДК 621.314

О. В. ШУТЕНКО, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПІ»;
Д. М. БАКЛАЙ, аспірант, НТУ «ХПІ»;

АНАЛІЗ ЗАКОНІВ РОЗПОДІЛУ КОНЦЕНТРАЦІЙ ГАЗІВ, РОЗЧИНЕНИХ У МАСЛІ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ НЕГЕРМЕТИЧНОГО ВИКОНАННЯ

Запропоновано алгоритм статистичної обробки результатів хроматографічного аналізу розчинених у маслі газів, для формування масивів з однорідними концентраціями в умовах апіорної невизначеності вхідної, вимірювальної інформації. Виконані дослідження законів розподілу газів розчинених у маслі бездефектних і дефектних трансформаторів. Установлено, що щільності розподілів для дефектних і бездефектних станів перетинаються, а це значить що принципово не можливо вибрати граничні значення показників, які б не давали помилкових рішень.

Ключові слова: хроматографічний аналіз, дефект що розвивається, статистична обробка, закони розподілу, критерії згоди.

Постановка проблеми. Одним з первинних ознак наявності дефекту, що розвивається, у силових трансформаторах, може бути перевищення концентрацій газів, деяких значень, названих граничними. Очевидно, що надійність роботи устаткування буде багато в чому залежати від того наскільки коректно обрані граничні значення концентрацій розчинених у маслі газів. Відповідно діючому в Україні нормативному документу [1], граничні значення визначаються на основі аналізу інтегральних функцій розподілу концентрацій газів, отриманих для 90% усіх вимірів у бездефектних трансформаторах. Однак у такий спосіб можна визначити типові концентрації газів, тобто максимальні концентрації газів, які можуть бути виявлені у 90 – 95% устаткування від загальної кількості, що не має ознак дефектів. Дане обмеження є довільним і пов'язане з тим, що згідно із середньосвітовою статистикою тільки у 5–10% устаткування можуть бути відхилення, що приводять до розвитку дефектів. У деяких методичних керівних документах типові значення ототожнюються із граничними концентраціями газів, що розділяють бездефектне й дефектне устаткування. Така інтерпретація, [2], є помилковою. На підставі тільки статистичного аналізу навіть дуже великої кількості результатів ХАРГ, отриманих від устаткування, що не має дефектів не можна визначити граничні показники дефектного стану через багатofакторність процесів газоутворення.

© О. В. Шутенко, Д. М. Баклай, 2014