

Современные проблемы отечественной стандартизации испытательных напряжений и методов испытаний электрооборудования высокого напряжения

КОРЯВИН А.Р., ВОЛКОВА О.В., МИЛКИН Е.А.

Рассмотрены основные современные проблемы отечественной стандартизации в области высоковольтной техники, касающиеся требований к электрической прочности высоковольтного электрооборудования и методов его испытаний. Показано, что формальное стремление к прямому применению в отечественной практике стандартов МЭК по целому ряду причин нецелесообразно, так как это может войти в противоречие с национальными интересами страны. Представлены предложения, направленные на развитие и совершенствование национальных и международных нормативных документов.

Ключевые слова: высоковольтное электрооборудование, электрическая прочность, методы испытаний, стандартизация

Практически каждая страна, особенно сильно развитая, имеет свои национальные стандарты. В области высоковольтной техники применительно к электрооборудованию подстанций основополагающими являются два взаимосвязанных нормативных документа.

Первый — стандарт, в котором изложены требования к электрической прочности электрооборудования при его испытании нормированными формами и значениями воздействующего напряжения. Основная цель высоковольтных испытаний — проверка соответствия электрической прочности изоляции электрооборудования нормативным требованиям с целью недопущения в эксплуатацию образцов с показателями ниже нормированных.

Второй — стандарт, в котором отражены методы проведения высоковольтных испытаний электрооборудования. Основная задача этих методов — обеспечение достоверности и сопоставимости результатов испытаний, проведенных в различных высоковольтных лабораториях.

Национальные стандарты, относящиеся к первому нормативному документу и имеющие первостепенное значение, характеризуются своими специфическими особенностями, определяемыми многими факторами, как объективного, так и субъективного характера. К ним относятся: уровень экономического развития государства, исторический опыт в создании и развитии электроэнергетики, уровень вырабатываемой и передаваемой мощности, требуемое качество электроэнергии, протя-

The main modern problems concerned with standardization in the field of high-voltage engineering in Russia relating to the requirements for electric strength of high-voltage electrical equipment and its test methods are considered. It is shown that formal attempts toward direct application of the IEC standards in the Russian electric industry is inadvisable for a number of reasons, because this may come in contradiction with the country's national interests. Proposals aimed at development and improvement of the national and international regulatory documents are presented.

Key words: high-voltage electrical equipment, electric strength, test methods, standardization

женность и разветвленность электрических сетей, особенности режимов их работы, применяемые классы напряжения электрооборудования, используемая система защиты от перенапряжений, климатические условия эксплуатации электрооборудования, требования, предъявляемые к испытательным напряжениям разными сетевыми компаниями и многое другое.

Развитие внешнеэкономических связей обусловило проведение работ в области стандартизации в двух встречных направлениях.

Работы первого направления выполнялись Международной электротехнической комиссией (МЭК) в тесном взаимодействии с Национальными техническими комитетами (НТК) с целью разработки унифицированных международных нормативных документов. Во встречном направлении шли работы по совершенствованию и модификации национальных стандартов, в частности, с целью их сближения с международными нормативными актами.

Перед МЭК и НТК стояла чрезвычайно сложная задача по учету и унификации многочисленных разноречивых требований к электрической прочности изоляции. В результате при создании международного стандарта [1], регламентирующего наиболее общие требования к испытательным напряжениям электрооборудования, был найден определенный компромисс:

по уровню наибольшего рабочего напряжения $U_{н.раб}$ все электрооборудование было разделено на

две группы: группу высокого напряжения (группа ВН) с $U_{н.раб}$, изменяющимся в диапазоне от 1 до 245 кВ, и группу сверхвысокого напряжения (группа СВН) с $U_{н.раб} > 245$ кВ;

для оборудования группы ВН нормируются два вида испытательного напряжения: стандартный грозовой импульс 1,2/50 мкс, имитирующий грозовые воздействия, и кратковременное (одноминутное) напряжение промышленной частоты, введенное еще в начале прошлого века в качестве довольно условного аналога коммутационных перенапряжений [2], возникающих при работе коммутационной аппаратуры в нормальных и аварийных режимах; при этом одноминутная выдержка напряжения частотой 50 Гц была установлена в значительной степени произвольно;

накопленный в течение длительного периода времени теоретический и экспериментальный материал позволил обосновать форму и значения испытательных напряжений коммутационного импульса; в результате для оборудования группы СВН наряду со стандартным грозовым импульсом 1,2/50 мкс в [1] был введен стандартный коммутационный импульс 250/2500 мкс взамен кратковременного напряжения промышленной частоты;

в международном нормативном документе [1] для оборудования с фиксированным значением $U_{н.раб}$ с учетом специфических особенностей национальных стандартов, появилось несколько (обычно два и более) уровней испытательных напряжений $U_{исп}$.

Причем для двух смежных значений $U_{н.раб}$ принимаются один или даже два одинаковых уровня испытательных напряжений. В качестве примера в табл. 1 для оборудования с 145 кВ $\leq U_{н.раб} \leq 245$ кВ приведены уровни испытательных напряжений по [1].

Таблица 1

Наибольшее рабочее напряжение $U_{н.раб}$, кВ(д)	Испытательное напряжение	
	кратковременное промышленной частоты, кВ(д)	грозового импульса, кВ
145	185	450
	230	550
	275	650
170	230	550
	275	650
	325	750
245	275	650
	325	750
	360	850
	395	950
	460	1050

Наличие в [1] многих уровней испытательных напряжений для оборудования с фиксированным значением $U_{н.раб}$ связано, в первую очередь, с особенностями режима работы энергосистем и различными системами ограничения перенапряжений. При таком подходе для заказчиков (сетевых компаний) и производителей продукции открываются широкие возможности для выбора испытательных напряжений. В то же время можно с достаточной степенью уверенности предположить, что отсутствие в полной мере знаний о подлинной причине появления в [1] большого числа уровней $U_{исп}$ приведет к тому, что, руководствуясь своими собственными интересами, заказчики будут ориентироваться на максимальные, а производители – на минимальные значения $U_{исп}$.

Кроме того, многоуровневый принцип нормирования испытательных напряжений создает очень серьезные препятствия для процесса сближения отечественного стандарта [3] со стандартом МЭК [1]. В настоящее время в связи с вступлением нашей страны в ВТО эти препятствия значительно возросли за счет ужесточения требований к условиям сближения. В силу ряда принципиальных моментов решить проблему сближения [3] с [1] без ущерба национальным интересам страны оказывается практически невозможно по следующим основным причинам.

Исходными параметрами для нормирования в [3] испытательных напряжений электрооборудования каждого класса напряжения являются расчетные значения перенапряжений с учетом их ограничения комплексными системами защиты с базовыми элементами: вентильными разрядниками (внедрившимися на ранних стадиях развития электроэнергетики) и ограничителями перенапряжений с нестарящимися нелинейными варисторами (ОПН), которые как наиболее прогрессивные и перспективные аппараты все более вытесняют своих предшественников. Поэтому в [3], как правило, приводится два уровня $U_{исп}$ (исключение составляло оборудование 110, 150 и 220 кВ), значения которых (особенно для электрооборудования СВН) равны или оказываются близкими к соответствующим наибольшим уровням испытательных напряжений, приведенным в [1]. Соответственно формальное сближение норм [3] с нормами [1] во многих случаях привело бы к необоснованному регламентированию в российской нормативной базе менее жестких требований к электрической прочности изоляции. Для иллюстрации сказанного в табл. 2 приведены испытательные напряжения коммутационного импульса для коммутационных аппаратов группы СВН по международному [4] и отечественному [3] стандартам.

Таблица 2

Наибольшее рабочее напряжение $U_{н.раб.}$, кВ	Испытательное напряжение $U_{исп.}$, кВ		
	Относительно земли	Между разомкнутыми контактами	
		выключателя	разъединителя
По международному стандарту [4]			
362	850	1145=850+(295)	1095=800+(295)
	950	1245=950+(295)	
550	1050	1365=1050+(315)	1350=900+(450)
	1175	1490=1175+(315)	
800	1425	1880=1425+(455)	1825=1175+(650)
	1550	2005=1550+(455)	
По отечественному стандарту [3]			
363	850	950=850+(100)	950=850+(100)
	950	1245=950+(295)	1245=950+(295)
525	1050	1330=1050+(280)	1330=1050+(280)
	1230	1660=1230+(430)	1660=1230+(430)
787	1425	2000=1425+(575)	1675=1425+(250)
	1550	2250=1550+(700)	1800=1550+(250)

Примечание. Испытательное напряжение межконтактной изоляции аппаратов состоит из испытательного напряжения коммутационного импульса, приложенного к одному контакту, и амплитудного значения напряжения промышленной частоты противоположной полярности (в скобках), приложенного к другому контакту.

Из данных табл. 2 видно, что если ориентироваться на наибольшие уровни испытательных напряжений, то $U_{исп}$ межконтактной изоляции аппаратов, нормируемые в [4], в большинстве случаев оказываются ниже, чем в [3]. Более того, необходимо учитывать, что наименьшая электрическая прочность внешней изоляции имеет место при коммутационных импульсах положительной полярности, причем, чем больше отношение отрицательной составляющей напряжения промышленной частоты на противоположном контакте к суммарному напряжению (а), тем выше электрическая прочность изоляции. Для межконтактной изоляции разъединителей значение а, определяемое по [4], заметно больше чем в [3]. Соответственно требования, предъявляемые к электрической прочности межконтактной изоляции аппаратов в [3], более жесткие, чем в [4].

Очередная проблема состоит в том, что в отечественной практике традиционно сложился вполне определенный спектр классов напряжения электрооборудования, в который входит далеко не весь перечень значений $U_{н.раб.}$ и, соответственно, $U_{исп.}$ включенных в [1]. В частности, в нашей стране нет электрических сетей со значениями $U_{н.раб.}$, равными 36, 52, 72,5, 100, 145, 300 и 420 кВ. В то же время в России имеется электрооборудование с $U_{н.раб.}$, равным 26,5, 30 и 40,5 кВ, для которого в [1] испытательные напряжения не предусмотрены.

Следующим препятствием к сближению национальной нормативной базы [3] с [1] является существенно разная структура этих документов. В [1] изложены наиболее общие требования к испытательным напряжениям электрооборудования безотносительно к конкретному его виду, для каждого из которых дополнительно к [1] прилагается свой собственный нормативный документ с отраженными в нем специфическими особенностями. В результате образуется комплект из большого числа объемных документов. В отечественной же практике требования к электрической прочности как наиболее общие, так и для каждого вида электрооборудования, сконцентрированы в относительно небольшом по объему документе [3]. Ясно, что такое структурное оформление [3] гораздо более удобно и предпочтительно для пользователя.

Помимо отмеченного, серьезные проблемы к сближению международных и отечественных нормативных документов вызывает климатический фактор. В восточных регионах нашей страны температура воздуха зимой может опускаться до $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ и даже ниже. Для таких случаев российская практика предусматривает соответствующее климатическое исполнение электрооборудования. В международной и национальной практике большинства стран наиболее низкая температура воздуха, при которой допускается работа оборудования, ограничена $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Эксплуатация аппаратов, изготовлен-

ных для этих условий, при более низких температурах может привести к негативным последствиям. Так например, в морозные зимы 2010 г. при температуре воздуха, близкой к $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, практически все элегазовые выключатели 500 кВ фирмы ABB (в Западной Сибири) и фирмы Siemens (в Казахстане) отказали в работе из-за блокировки команд на коммутации вследствие падения давления элегаза в аппаратах ниже допустимого значения.

Следует также добавить, что наличие в российских электрических сетях 500 кВ относительно большого числа шунтирующих реакторов приводит к тому, что в ряде случаев указанные выключатели с трудом справляются с операцией отключения вследствие возникновения резонансных явлений и появления апериодической составляющей. В результате отключение происходит не вблизи момента перехода тока через нуль, что не обеспечивает условий для эффективного гашения дуги.

Не только коммутационные аппараты, но и другие виды электрооборудования зарубежного производства плохо адаптированы к работе в условиях экстремально низких зимних температур Сибири. Это, в частности, относится к маслонаполненному оборудованию (трансформаторным вводам, конденсаторам связи), в котором использованы демпфирующие прокладки, не рассчитанные на температуру воздуха $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. При столь низких температурах прокладки уже не в состоянии в полной мере выполнять свои функции, что приводит к течи масла и появлению трещин в фарфоровых покрышках.

Изложенные соображения свидетельствуют о нецелесообразности приведения требований отечественного стандарта [3] к требованиям стандарта МЭК [1] и его производным. В то же время, базирясь на научно-технических достижениях в области высоковольтной техники, тенденциях развития стандартизации и руководствуясь экономическими интересами нашей страны, следует вносить в [3] новые позитивные элементы, направленные на его совершенствование. Работа именно в таком направлении недавно проведена, и на основе [3] разработан проект нового национального стандарта [5], нормирующего требования к электрической прочности высоковольтного электрооборудования.

Иные проблемы возникают при сближении требований отечественного [6] и международного [7] стандартов, в которых изложены методы высоковольтных испытаний электрооборудования. Как отмечалось выше, основная задача этих методов состоит в обеспечении достоверности и сопоставимости результатов испытаний, проведенных в различных высоковольтных лабораториях. В целом решение этой задачи достигается за счет идентичности требований:

к условиям проведения испытаний (в сухом состоянии, под дождем, расположению объекта на испытательном поле, учету атмосферных условий и т.д.);

методам испытаний при фиксированной форме напряжения (постоянное, переменное, стандартный грозовой и коммутационный импульсы, комбинированное и наложенное напряжения);

допускам к параметрам испытательного напряжения и точности его измерения;

критериям оценки результатов испытаний;

методам статистической обработки результатов испытаний.

Ныне действующий отечественный стандарт [6] был разработан с учетом перечисленных требований в соответствии с основными положениями международного стандарта [8], на основе которого появился новый стандарт [7]. По сравнению с [8], вошедшие в [7] наиболее существенные изменения и дополнения в основном отражают прогресс в развитии высоковольтной импульсной измерительной техники, в результате чего на смену осциллографов с электронно-лучевыми трубками приходят цифровые импульсные измерительные системы (ЦИИС). Заложенное в них программное обеспечение позволяет автоматизировать регистрацию и хранение осциллограмм импульсных напряжений, а также расчет их параметров. Преимущества ЦИИС перед традиционными осциллографами наиболее ощутимы при обработке осциллограмм напряжения грозовых импульсов, которые во многих случаях характеризуются наложенными высокочастотными колебаниями и выбросами. Именно к этим случаям относятся следующие основные изменения и дополнения.

Раздел «Испытания напряжением грозового импульса» существенно дополнен новыми терминами и определениями за счет введения понятия «Функция испытательного напряжения $k(f)$ » (частотная функция, определяющая реакцию изоляции на воздействующие импульсы напряжения с выбросами и/или колебаниями). Применение этой функции в качестве цифрового фильтра к реальной кривой испытательного напряжения с наложенными на нее высокочастотными выбросами и/или колебаниями позволяет выполнить автоматизированный компьютерный расчет значения испытательного напряжения, эквивалентного напряжению сглаженного полного грозового импульса.

Введен ряд Приложений, в которых изложено обоснование введения понятия «Функции испытательного напряжения $k(f)$ », а также представлены алгоритмы ручной и компьютерной обработки данных, полученных при регистрации грозовых им-

пульсов с наложенными высокочастотными выбросами и/или колебаниями.

Помимо этого, в стандарте [7] раздел «Испытания комбинированным и наложенным напряжениями» изложен более подробно, чем в [8]. Кроме того, из стандарта [7] были исключены:

раздел «Испытания при искусственном загрязнении» и приложение «Методы испытаний при загрязнении»;

раздел «Испытания импульсным током».

Примечательно, что указанные исключенные разделы изначально отсутствовали в стандарте [6], что свидетельствует о процессе встречного сближения международного и отечественного стандартов.

Для совершенствования национальной нормативной базы на основе [6] и отмеченных ранее основных нововведений, отраженных в стандарте МЭК [7], был разработан проект стандарта [9], в котором учтены характерные особенности отечественной стандартизации, благодаря чему он отличается от [7] рядом следующих наиболее существенных моментов:

в разделе «Определения, относящиеся к статистическим характеристикам разрядных напряжений» устранено упущение стандарта [7]: кроме определения первого параметра кривой эффекта (зависимости вероятности разряда от амплитуды воздействующего напряжения) — 50%-го разрядного напряжения U_{50} введено также определение второго неотъемлемого параметра кривой эффекта — стандартного отклонения s ;

в том же разделе параметр s , характеризующий разброс разрядных напряжений U_{pi} , относительно среднего значения U_{cp} , определен в соответствии с теорией вероятности как среднеквадратичное отклонение, в то время как в стандарте [7] он (с тем же символом s) определен как стандартное отклонение, что создает явную путаницу при статистической обработке разных по физическому смыслу вероятностных характеристик (кривой эффекта с параметрами U_{50} и s и зависимости вероятности появления совокупности разрядных напряжений со значениями, равными или меньше U_{pi} , от значения разрядного напряжения: U_{cp} и s);

в разделе «Испытания комбинированным и наложенным напряжениями» устранено упущение стандарта [7], в котором стилизованные осциллограммы комбинированного напряжения и его составляющих приведены без учета емкостной связи между двумя высоковольтными выводами, чего в реальности быть не может.

Учитывая характерные особенности национальной стандартизации, многолетний положительный опыт применения стандарта [6] и руководствуясь

интересами пользователей, содержание ряда следующих структурных элементов проекта стандарта [9] изложен более подробно, чем в [7]:

«Расположение объекта испытаний на испытательном поле»;

«Требования к объекту испытаний»;

«Условия при испытании изоляции под дождем»;

«Определение вольт-секундной характеристики изоляции»;

«Методы испытаний переменным напряжением»;

«Определение значения испытательного напряжения и параметров коммутационного импульса»;

«Методы испытаний комбинированным и наложенным напряжениями».

Более детально, с иллюстрациями на конкретных примерах изложено и содержание приложения А «Статистическая оценка результатов испытаний». Причем, в ряде случаев предъявляемые в этом приложении требования к минимально допустимому числу опытов при проведении испытаний оказываются заметно более жесткими, чем в [7], что обеспечивает в отечественной практике меньшую погрешность в оценке результатов испытаний и большую их достоверность. Так например, при испытании электрооборудования ступенчатым методом минимальное число приложений напряжения на каждой ступени в соответствии с требованиями [7] составляет 10, а согласно требованиям [9] — 20.

Следует также добавить, что по сравнению с международным стандартом [7] проект национального стандарта [9] имеет заметные структурные и качественные отличия, а также включает в себя ряд подразделов, отсутствующих в [7]. В частности, в [7] нет подразделов:

«Определения, относящиеся к видам испытательного напряжения»;

«Определение и подбор значений параметров грозовых импульсов при испытаниях»;

«Определение и подбор значений параметров коммутационных импульсов при испытаниях»;

«Испытание изоляции на стойкость к тепловому пробою»;

«Испытание электрооборудования переменным напряжением на радиопомехи»;

«Испытание внешней изоляции переменным напряжением на отсутствие видимой короны».

Перечисленные характерные особенности международного и отечественного стандартов свидетельствуют о нецелесообразности прямого применения стандарта МЭК [7] в качестве национальной российской нормативной базы. Нецелесообразно также и представление отечественного стандарта в

виде модифицированного по отношению к [7], поскольку согласно требованиям [10, 11] в этом случае в текст нормативного документа необходимо ввести большое число примечаний, сносок и дополнительных приложений, что нанесет существенный ущерб качеству стандарта и приведет к серьезным затруднениям при пользовании им. Указанные соображения были учтены при выборе формы представления проекта российского стандарта [9].

В плане развития и совершенствования международных и отечественных стандартов можно представить на рассмотрение следующие основные предложения.

В нормативных документах для отдельных видов электрооборудования СВН испытания кратковременным напряжением промышленной частоты, играющими роль аналога коммутационных перенапряжений, целесообразно заменить на испытания стандартным коммутационным импульсом 250/2500 мкс. Именно такое вполне обоснованное решение было реализовано в стандарте МЭК [1], в котором изложены общие требования к электрической прочности изоляции электрооборудования безотносительно к отдельным его видам. Однако это решение оказалось половинчатым и непоследовательным, поскольку и в международных и отечественных стандартах на отдельные виды оборудования наряду с испытаниями стандартным коммутационным импульсом остались и испытания кратковременным напряжением промышленной частоты. Такой консерватизм в значительной мере оправдан применительно к оборудованию с внутренней жидкой или твердой изоляцией, на функциональные свойства которой может оказывать влияние кумулятивный эффект, возникающий вследствие многократного знакопеременного воздействия в каждый период напряжения частотой 50 Гц. Применительно же к внешней изоляции аппаратов СВН, включая воздушные промежутки, нет физически обоснованных доводов оставлять при типовых и квалификационных испытаниях воздействие кратковременным переменным напряжением.

Учитывая в целом негативное влияние дождя на электрическую прочность внешней изоляции, следует также обсудить вопрос о целесообразности исключения испытаний этой изоляции в сухом состоянии, ограничившись испытаниями оборудования категории размещения 1 (установленного в открытых распределительных устройствах) лишь под дождем (при кратковременном воздействии переменного напряжения — для оборудования ВН и коммутационном импульсе — для оборудования СВН). Это позволит резко сократить объем испытаний, финансовые и материальные затраты на их проведение.

Для электрооборудования ультравысокого напряжения (УВН — $U_{н.раб.} > 800$ кВ) одной из первоочередных задач, активно обсуждаемых в настоящее время, является выбор длительности фронта стандартного коммутационного импульса T_{ϕ} . Основываясь на экспериментальных данных и положительном опыте эксплуатации первой в мире отечественной электропередачи 1200 кВ, для испытания оборудования УВН в качестве стандартного был предложен коммутационный импульс с $T_{\phi} = 500$ мкс [12].

Что же касается нормативных документов на методы испытаний, то здесь основные усилия следует направить на разработку специфических особенностей этих методов применительно к электрооборудованию УВН.

Используя прогресс в развитии компьютерной техники и программного обеспечения, целесообразно в наибольшей степени автоматизировать процесс испытаний различных видов оборудования.

В заключение следует добавить, что в современных российских реалиях сложилась своеобразная ситуация, при которой заказчику высоковольтной продукции, будь то зарубежному или отечественному в лице ОАО «ФСК ЕЭС», нет необходимости строго придерживаться требований международных или отечественных стандартов. Он вправе выбирать любые из этих документов или ориентироваться на свои собственные нормативные акты (стандарты организации). Это важное обстоятельство вносит неопределенность в оценку качества продукции и неизбежно способствует снижению уровня значимости международных и государственных стандартов, а также делает менее актуальной задачу их сближения.

Выводы. 1. Для исключения ущерба национальным интересам страны сближение российских и международных стандартов в области высоковольтной техники следует проводить с учетом специфики территориального расположения России, особенностей ее энергосистем, многолетнего опыта эксплуатации электрооборудования различных классов напряжения.

2. Испытания внешней изоляции электрооборудования СВН кратковременным напряжением промышленной частоты предлагается исключить, оставив лишь испытания коммутационными импульсами. В этих же целях испытания внешней изоляции электрооборудования категории размещения 1 при напряжении промышленной частоты (для группы оборудования ВН) и коммутационных импульсах (для группы оборудования СВН) предложено проводить лишь под дождем.

3. В ближайшей перспективе необходимо продолжить работы по выбору формы стандартного коммутационного импульса для испытания оборудования УВН и разработки специфических особенностей методов его испытания.

4. Экономически целесообразным представляется оптимизация процесса испытаний за счет его автоматизации с помощью компьютерной техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **ИЕС 60071-1:2011.** Insulation co-ordination. Part 1: Definitions, principles and rules.
2. **Сапожников А.В.** Уровни изоляции электрооборудования высокого напряжения. — М.: Энергия, 1969.
3. **ГОСТ 1516.3—96.** Электрооборудование переменного тока на напряжения от 1 кВ до 750 кВ. Требования к электрической прочности изоляции.
4. **ИЕС 62271-1:2011.** High voltage switchgear and controlgear. Part 1: Common specifications.
5. **Проект ГОСТ Р.** Электрооборудование и электроустановки переменного тока на напряжение от 1 кВ до 750 кВ. Требования к электрической прочности изоляции.
6. **ГОСТ 1516.2—97.** Электрооборудование и электроустановки переменного тока на напряжение 3 кВ и выше. Общие методы испытаний электрической прочности изоляции.
7. **ИЕС 60060-1: 2010.** High-voltage test techniques. Part 1: General definitions and test requirements.
8. **ИЕС 60060-1: 1989.** High-voltage test techniques. Part 1: General definitions and test requirements.
9. **Проект ГОСТ Р.** Электрооборудование и электроустановки переменного тока на напряжение от 1 кВ до 750 кВ. Общие методы испытаний электрической прочности изоляции.
10. **ГОСТ Р 1.5—2004.** Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила построения, изложения, оформления и обозначения.
11. **ГОСТ Р 1.7—2008.** Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила оформления и обозначения при разработке на основе признания международных стандартов.
12. **Lokhanin A., Koryavin A., Volkova O., Goldshtein M.** Choice of the form of the test switching pulse and amendments on atmospheric conditions for UHV external insulation. — SIGRE, 2012, Rep. D1-201.

[28.02.13]

*Авторы: **Корявин Алексей Родионович** окончил электроэнергетический факультет (ЭЭФ) Московского энергетического института (МЭИ) в 1971 г. В 2000 г. защитил докторскую диссертацию по исследованию электрического разряда в длинных воздушных промежутках и разработке методов расчета электрической прочности внешней изоляции оборудования сверх- и ультравысокого напряжения. Начальник сектора ФГУП ВЭИ.*

***Волкова Ольга Владимировна** окончила ЭЭФ МЭИ в 1958 г. В 1970 г. защитила кандидатскую диссертацию по исследованию разрядных характеристик защитных воздушных промежутков. Ведущий научный сотрудник ФГУП ВЭИ.*

***Милкин Евгений Александрович** окончил Московский государственный вечерний металлургический институт в 2010 г. Научный сотрудник ФГУП ВЭИ.*