

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе анализа научно-технических публикаций, отечественных и зарубежных нормативных документов, посвященных вопросам защиты оборудования электрических сетей от грозových и коммутационных перенапряжений, а также на основе расчетов, проведенных аналитически и при помощи разработанных компьютерных моделей, соискателем:

- ✓ предложен и опробован не использовавшийся ранее для выработки основ грозозащиты статистический метод оценки защищенности изоляции оборудования ОРУ 110-750 кВ подстанций от грозových перенапряжений; с целью практической реализации предложенного подхода разработаны необходимые программные модули для комплекса ЕМТР; на основе проведенных на таких моделях исследований обоснована необходимость корректировки ПУЭ 7.0 в части выбора схемы защиты изоляции оборудования разных классов напряжения от грозových перенапряжений;
- ✓ предложены и обоснованы аналитическими выкладками и исследованиями на компьютерных моделях методические подходы к выбору параметров эквивалентных схем энергосистем для расчета коммутационных перенапряжений на оборудовании ПС, в основе которых лежит принцип защиты оборудования от максимально возможных перенапряжений в данной энергосистеме; показано существенное упрощение процедуры определения требуемых характеристик ОПН при таком подходе, а также снижение риска принятия ошибочных решений из-за некорректного выбора параметров в эквивалентной расчетной схеме энергосистемы; приведены практические примеры реализации предложенных подходов;
- ✓ обоснованы рекомендации по широкому применению ограничителей перенапряжений в линейных ячейках присоединенных ВЛ как универсального средства, позволяющего наиболее надежно защитить оборудование ПС от грозových и коммутационных перенапряжений;
- ✓ составлены расчетные компьютерные схемы замещения трансформатора, с использованием которых проведен анализ передачи грозových волн через

трансформатор в разземленную нейтраль; даны оценки кратностям и форме импульсов грозовых перенапряжений на изоляции разземленной нейтрали силовых трансформаторов 110-220 кВ; расчетным путем определены предельные параметры импульсных токов в ОПН-Н и перенапряжений в разземленных нейтралях, а также требуемые характеристики ОПН-Н для защиты изоляции нейтралей;

- ✓ составлены расчетные схемы замещения блочных передач, в которых проведен анализ внутренних перенапряжений, представляющих опасность для оборудования и, прежде всего, для ОПН; предложены меры повышения надежности работы ОПН в блочных передачах 110-750 кВ и основные характеристики таких ОПН;
- ✓ даны физические основы переходных процессов, происходящих в ВЛ 110-750 кВ, изоляция которой защищена при помощи ОПН подвешенного исполнения; предложен и опробован в ЕМТР статистический метод подхода к оценке защищенности изоляции ВЛ от грозовых перенапряжений и выбору основных технических характеристик ОПН; даны обобщающие выводы относительно влияния конструктивных особенностей ВЛ 110-750 кВ и сопротивлений заземления опор на схему расстановки аппаратов на опоре и вдоль трассы линии, а также на основные характеристики ОПН, что может быть положено в основу соответствующих методических указаний по подвесным аппаратам, которые в настоящее время в России не разработаны.

Результаты приведенных в работе исследований позволяют сформулировать основные положения методических подходов к выбору технических характеристик и схем расстановки ОПН в сетях напряжением 110-750 кВ:

1. Для корректного выбора характеристик ОПН 110-750 кВ в обязательном порядке необходимо проведение расчетов:
  - внутренних перенапряжений на подстанциях, к которым присоединены ВЛ 500-750 кВ длиной более 200-300 км (глава 2);

- внутренних перенапряжений на подстанциях 110-750 кВ, на которых у силовых трансформаторов и автотрансформаторов не установлены выключатели на стороне высокого напряжения (в блочных схемах, рассмотренных в главе 4); на практике следует избегать таких схем, как потенциально опасных для оборудования с точки зрения возникающих перенапряжений, что снимет необходимость проведения расчетов;
- грозовых перенапряжений на ВЛ 110-750 кВ, не обладающих достаточной грозоупорностью, с целью определения необходимости установки ОПН, числа и мест их первоочередного размещения, выбора типа ОПН и основных его характеристик (глава 5).

В остальных случаях в проведении расчетов перенапряжений нет особой необходимости, и выбор схемы защиты оборудования может быть произведен упрощенно.

2. Для выбора схемы защиты оборудования ПС от грозовых перенапряжений можно использовать требования ПУЭ 7.0 к расстояниям от защитных аппаратов до оборудования и длине защищенного тросами подхода ВЛ, скорректировав их следующим образом:

- при замене разрядников на ОПН допускается пересчитывать расстояния только до силовых трансформаторов и автотрансформаторов;
- недопустим пересчет расстояний до наиболее удаленного оборудования ОРУ (оборудования линейных ячеек), расположенного по ходу набегающих с присоединенных ВЛ грозовых волн до защитного аппарата (РВ или ОПН);
- в случае повышенных (более 20 Ом) сопротивлений заземления опор ВЛ 110-330 кВ на подходах к ПС необходимо устанавливать дополнительные ОПН 110-330 кВ, размещаемые в линейные ячейки ВЛ или на сборные шины ПС;
- рекомендуется ограничить расстояния от защитных аппаратов до удаленного оборудования при большом числе присоединенных ВЛ 110, 150, 220 кВ;

- наиболее надежную защиту от грозовых перенапряжений оборудования ОРУ обеспечивают схемы, в которых в линейных ячейках присоединенных ВЛ установлены ОПН;
  - допускается уменьшать длину защищенного тросового подхода ВЛ в случае установки ОПН в ее линейную ячейку.
3. Для выбора схемы защиты оборудования ПС от коммутационных перенапряжений достаточно использовать требования ПУЭ 7.0 к местам установки защитных аппаратов, дополнив их следующим образом: установка ОПН на присоединенные к подстанции ВЛ по условиям защиты оборудования от коммутационных перенапряжений
- не требуется в сетях 110-220 кВ;
  - обязательна для сетей 330-750 кВ.
4. Основные характеристики ОПН за исключением случаев, указанных в п.1, допустимо определять упрощенно:
- в режиме ограничения грозовых перенапряжений (импульс тока 8/20 мкс амплитудой 10 кА для сетей 110-330 кВ и 20 кА для сетей 500-750 кВ) остающееся напряжение на ОПН, защищающем трансформатор или автотрансформатор, определяется по формуле ПУЭ 7.0 в зависимости от расстояния до защищаемого трансформатора или автотрансформатора;
  - в режиме ограничения грозовых перенапряжений остающееся напряжение на ОПН, установленном в линейную ячейку или на сборные шины, может быть принято таким же, как для ОПН, защищающем в этом ОРУ изоляцию трансформатора или автотрансформатора;
  - в режиме ограничения коммутационных перенапряжений (импульс тока 30/60 мкс амплитудой 500 А для сетей 110-220 кВ и амплитудой 1000 А для сетей 330-750 кВ) остающееся напряжение на ОПН, установленных в ОРУ, должно быть на 15-20% ниже, чем испытательное напряжение защищаемого оборудования коммутационным импульсом по ГОСТ 1516.3-96;

- наибольшее рабочее напряжение ОПН принимается на 2-3% выше наибольшего рабочего напряжения сети, в которую он устанавливается;
- характеристика «напряжение-время» ОПН принимается типовой – допустимо воздействие напряжение промышленной частоты кратности не менее 1.25 (по отношению к наибольшему рабочему напряжению ОПН) в течение 10 сек;
- номинальный разрядный ток (импульс 8/20 мкс) для сетей 110-330 кВ принимается равным 10 кА, а для сетей 500-750 кВ равным 20 кА;
- амплитуда импульса большого тока (импульс 4/10 мкс) для сетей 110-220 кВ принимается равной 65(100) кА, для сетей 330-750 кВ равной 100 кА;
- удельная энергия ОПН (приведенная к наибольшему рабочему напряжению), установленного на присоединенную к подстанции ВЛ (при длине менее 200-300 км), при протекании по нему одного импульса тока прямоугольной формы длительностью 2000 мкс зависит от длины ВЛ и определяется по табл.2.6, но не должна быть меньше значений, обусловленных надежной работой ОПН в режиме рассеивания энергии грозových перенапряжений: в сетях 110, 220, 330, 500, 750 кВ соответственно 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0 кДж/кВ;
- удельная энергия ОПН (приведенная к наибольшему рабочему напряжению), установленного у трансформатора, автотрансформатора или на сборных шинах, при протекании по нему одного импульса тока прямоугольной формы длительностью 2000 мкс практически не зависит от длины присоединенных к подстанции ВЛ и должна быть не меньше значений, обусловленных надежной работой ОПН в режиме рассеивания энергии грозových перенапряжений: в сетях 110, 220, 330, 500, 750 кВ соответственно 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0 кДж/кВ;
- основные характеристики ОПН-Н, предназначенных для защиты изоляции разземляемой нейтрали силовых трансформаторов 110-220 кВ, определяются по табл.3.4 и соответствуют данным [1,26].

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. РД 153-34.3-35.125-99. Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений/Под научной редакцией Н.Н.Тиходеева. –2-е изд. –СПб: ПЭИПК Минтопэнерго РФ, 1999. –355 с.
2. Костенко М.В., Ефимов Б.В., Зархи И.М., Гумерова Н.И. Анализ надежности грозозащиты подстанций. –Л.: «Наука», 1981. –128 с.
3. Правила устройства электроустановок. Издание 7-е. –М.: Энергоатомиздат, 2004.
4. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. Издание 15-е. – М.: Энергоатомиздат, 1996. –288 с.
5. EMTP Rule book. Bonneville Power Administration, Branch of System Engineering. Portland, Oregon 97208-3621, USA ([www.emtp.org](http://www.emtp.org)).
6. Dmitriev M.V., Evdokunin G.A., Gamilko V.A. EMTP Simulation of the secondary arc extinction at overhead transmission lines under single phase automatic reclosing//2005 IEEE St.Petersburg PowerTech Proceedings, June 27-30, 2005, Report №15.–ISBN 5-93208-034-0.
7. Дмитриев М.В., Евдокунин Г.А. Моделирование процессов в цикле ОАПВ с использованием программного комплекса EMTP//Сборник докладов международной научно-технической конференции “Перенапряжения и надежность эксплуатации электрооборудования”, 05-09 апреля 2004 года, выпуск №3, Минск.: Изд-во ПЭИПК Минтопэнерго РФ, С-Петербург, 2004. –380 с.
8. Дмитриев М.В., Евдокунин Г.А. Максимальные кратности грозových перенапряжений на подстанции//Известия РАН: Энергетика. –2004. –№2. – с.108-116.
9. Вольпов К.Д., Созинов А.В., Халилов Ф.Х. Результаты измерений входной емкости трансформаторов и реакторов 35-750 кВ//Электрические станции. – 1982. –№9. –с.60-61.
- 10.Кадомская К.П., Рейхердт А.А. Влияние способа моделирования ОПН и волны тока молнии на энергетические характеристики защитных аппаратов,

- установленных на опорах ВЛ//Электромеханика и Электроэнергетика: Научный вестник НГТУ. –2002. –№1(12), –с.91-100.
- 11.Базуткин В.В., Кадомская К.П., Костенко М.В., Михайлов Ю.А. Перенапряжения в электрических системах и защита от них. Учебник для вузов. –СПб.: Энергоатомиздат, Санкт-Петербургское отд-ние, 1995. –320 с. –ISBN 5-283-04423-8.
  - 12.ГОСТ 1516.3-96. Электрооборудование переменного тока на напряжения от 1 до 750 кВ. Требования к электрической прочности изоляции: Межгос. стандарт. –Введ. 01.01.99. –М.: ИПК Издательство стандартов, 1998. –50 с.
  - 13.Справочник по электрическим установкам высокого напряжения/под ред. И.А. Баумштейна, С.А. Бажанова. –М.: Энергоатомиздат, 1989. –767 с.
  - 14.Anderson J.G. Lightning Performance of Transmission Lines//Transmission Line Reference Book 345 kV and Above: Chapter 12. –EPRI, 3412 Hillview Avenue, Palo Alto, California, 1992. –с.545-597.
  - 15.Костенко М.В., Мессерман Д.Г. Деформация волн грозových перенапряжений в линиях передачи сверх и ультравысокого напряжения при большой длине пробега//Известия академии наук СССР: Энергетика и транспорт. –1987. – №3. –с.158-164.
  - 16.Костенко М.В., Кадомская К.П., Левинштейн М.Л., Ефремов И.А. Перенапряжения и защита от них в воздушных и кабельных электропередачах высокого напряжения. –Л.: «Наука», Ленинградское отд-ние, 1988. –302 с. –ISBN 5-02-024434-1.
  - 17.Базелян Э.М., Райзер Ю.П. Физика молнии и молниезащиты. –М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. –320 с. –ISBN 5-9221-0082-3.
  - 18.Кадомская К.П., Борисов Е.А. О моделировании волн тока молнии при исследовании грозозащиты электроэнергетических объектов//Сборник научных трудов НГТУ. –2003. –№2(32). –с.89-98.
  - 19.Дмитриев В.Л., Дмитриев М.В. Параметры разряда молнии в задачах грозозащиты//Известия РАН: Энергетика». –2005. –№4. –с.54-61.

20. IEEE Std 1243-1997. IEEE Guide For Improving the Lightning Performance of Transmission Lines//The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. – New York, 1997. –36 p. –ISBN 1-55937-937-5.
21. Ларионов В.П., Колечицкий Е.С., Шульгин В.Н. Расчет вероятности прорыва молнии сквозь тросовую защиту//Электричество. –1981. –№5. –с.19-23.
22. Базелян Э.М. Влияние рабочего напряжения на вероятность прорыва молнии к проводам воздушных линий//Электричество. –1981. –№5. –с.24-27.
23. ГОСТ 16357-83. Разрядники вентильные переменного тока на номинальное напряжение от 3,8 до 600 кВ. Общие технические условия: Межгос. стандарт. –Введ. 01.07.84. –М.: Издательство стандартов, 1983. –26 с.
24. Методические указания по применению ограничителей в электрических сетях 110-750 кВ. –М.: Изд-во НТК “Электропроект”, 2000. –68 с.
25. Дмитриев В.Л., Дмитриев М.В. Защита оборудования подстанций 110-750 кВ от перенапряжений//Новости Электротехники. –2004. –№6(30). –с.42-45.
26. Аронов М.А., Аношин О.А., Кондратов О.И., Лопухова Т.В. Ограничители перенапряжений в электроустановках 6-750 кВ. Методическое и справочное пособие. Под ред. М.А. Аронова. –М.: Изд-во “Знак”, 2001. –240 с. –ISBN 5-87789-013-1.
27. Лысков Ю.И., Антонова Н.П., Максимов В.М., Демина О.Ю. Проблемы применения нелинейных ограничителей перенапряжений 110-750 кВ//Электрические станции. –1988. –№ 9. –с.43-47.
28. Иманов Г.М., Таджибаев А.И., Халилов Ф.Х. Анализ опыта эксплуатации ограничителей перенапряжений 110 кВ и выше в сетях РАО “ЕЭС России//Промышленная энергетика. –1998. –№ 1. –с.11-14.
29. Дмитриев М.В. Оценка защищенности оборудования подстанций от грозных перенапряжений и анализ требований ПУЭ в части расстановки защитных аппаратов//Сборник докладов научно-технической конференции «Нелинейные ограничители перенапряжений: производство, технические требования, методы испытаний, опыт эксплуатации, контроль состояния», 5-10 декабря 2005. –СПб.: Изд-во ПЭИПК Минтопэнерго РФ, 2005. –164 с.



30. Гумерова Н.И. Проектирование грозозащиты ОРУ станций и подстанций//Сборник докладов 8-й научно-технической конференции по электромагнитной совместимости и электромагнитной безопасности «ЭМС-2004». –СПб., 2004. –с.69-74.
31. Гумерова Н.И., Ефимов Б.В., Невретдинов Ю.М. Повышение эффективности грозозащиты подстанций 330 кВ в регионах с высокоомными грунтами//Сборник докладов 8-й научно-технической конференции по электромагнитной совместимости и электромагнитной безопасности «ЭМС-2004». –СПб., 2004. –с.65-69.
32. Александров Г.Н. Ограничение перенапряжений в электрических сетях. – СПб.: Центр подготовки кадров СЗФ АО “ГВЦ Энергетики”, 2003. –188 с.
33. IEC 60099-4. Edition 1.2, 2001-12. Surge arresters –Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems//International Electrotechnical Commission. –Geneva, 2001. –261 p. –ISBN 2-8318-6079-2.
34. Гумерова Н.И., Грязнов И.Ю., Смирнов О.В. Грозовые токи в ОПН//Сборник докладов 8-й научно-технической конференции по электромагнитной совместимости и электромагнитной безопасности «ЭМС-2004». –СПб., 2004. –с.60-65.
35. Тиходеев Н.Н., Шур С.С. Изоляция электрических сетей. –Л.: Энергия, Ленингр. отд-ние, 1979. –304 с.
36. IEC 60099-5. Edition 1.1, 2000-03. Surge arresters –Part 5: Selection and application recommendations//International Electrotechnical Commission. – Geneva, 1999. –111 p. –ISBN 2-8318-5066-5.
37. Тиходеев Н.Н. Передача электрической энергии/Под ред. В.И. Попкова. –2-е изд., перераб. и доп. –Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1984. –248 с.
38. Кадомская К.П., Лавров Ю.А., Рейхердт А.А. Перенапряжения в электрических сетях различного назначения и защита от них: Учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. –368 с. –ISBN 5-7782-0460-4.
39. Александров Г.Н., Афанасьев А.И. Применение управляемых шунтирующих реакторов и нелинейных ограничителей перенапряжений в электрических

- сетях высокого напряжения: Учебное пособие –СПб.: ПЭИПК Минтопэнерго РФ, 1999. –109 с.
- 40.Дмитриев М.В., Дмитриев В.Л., Бойко А.А. Расчет коммутационных перенапряжений в сетях 500-750 кВ и выбор некоторых параметров ОПН, защищающих оборудование ПС//Сборник докладов научно-технической конференции «Нелинейные ограничители перенапряжений: производство, технические требования, методы испытаний, опыт эксплуатации, контроль состояния», 5-10 декабря 2005. –СПб.: Изд-во ПЭИПК Минтопэнерго РФ, 2005. –164 с.
- 41.Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. –М.: Энергия, 1970. –518 с.
- 42.Иманов Г.М., Пухальский А.А., Халилов Ф.Х., Таджибаев А.И. Защита электрических сетей предприятий нефти и газа от перенапряжений. –СПб: ПЭИПК Минтопэнерго РФ, 1999. –312 с.
- 43.Сиротинский Л.И. Техника высоких напряжений. –М.: ГЭИ, 1959. –368с.
- 44.Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. –М.: “Наука”, 1970. –720 с.
- 45.Хаммарлунд П. Восстанавливающееся напряжение на контактах выключателя. Перевод с англ. яз. –М.-Л.: Государственное энергетическое издательство, 1956. –296 с.
- 46.Электротехнический справочник. Том 1/ Под ред. П.Г. Грудинского и др. – Изд. 5-е, испр. –М.: “Энергия”, 1974. –776 с.
- 47.Дмитриев М.В. Квазистационарные перенапряжения в блочной передаче 500 кВ и выбор технических характеристик ОПН//Сборник докладов научно-технической конференции «Нелинейные ограничители перенапряжений: производство, технические требования, методы испытаний, опыт эксплуатации, контроль состояния», 5-10 декабря 2005. –СПб.: Изд-во ПЭИПК Минтопэнерго РФ, 2005. –164 с.
- 48.Фельдман М.Л. Что мешает широкому применению ОПН в энергетике?// Сборник материалов научно-технической конференции “Научные аспекты и

- актуальные проблемы разработки, производства, испытаний и применения ОПН”. –СПб.: АООТ “НИИ Электрокерамика“, 8-10 октября 2001. –с.8-11.
- 49.«Рекомендации по капитальному ремонту средств защиты от перенапряжений оборудования блочной электропередачи 750/500 кВ «ПС Metallургическая – ПС Старый Оскол» Белгородского предприятия МЭС Центра»//Отчет с обосновывающими материалами для разработки/Научн. рук. Ю.И. Лысков. М.: ЗАО “ИНТЕРЭСП“, 1997.
- 50.Евдокунин Г.А., Демьяненко К.Б., Титенков С.С. О методических указаниях по применению нелинейных ограничителей перенапряжений в сетях 6-750 кВ//Сборник материалов научно-технической конференции “Научные аспекты и актуальные проблемы разработки, производства, испытаний и применения ОПН”. –СПб.: АООТ “НИИ Электрокерамика“, 8-10 октября 2001. –с.12-17.
- 51.Евдокунин Г.А., Титенков С.С. Внутренние перенапряжения в сетях 6-35 кВ. –СПб.: Изд-во Терция, 2004. –188 с.
- 52.Кадомская К.П., Рейхердт А.А. Анализ токовых нагрузок ограничителей перенапряжений, устанавливаемых на опорах воздушных линий//Электричество. –2000. –№ 3. –с.2-6.
- 53.Кадомская К.П., Рейхердт А.А. Повышение надежности эксплуатации изоляции воздушных линий при установке ОПН на опорах//Сборник материалов научно-технической конференции “Научные аспекты и актуальные проблемы разработки, производства, испытаний и применения ОПН”. –СПб.: АООТ “НИИ Электрокерамика“, 8-10 октября 2001. –с.118-122.
- 54.Крыжановский В.В., Новикова А.Н., О.В. Шмараго. Области рационального использования подвесных ОПН (ОПНЛ) для повышения грозозащиты ВЛ 110 и 220 кВ//Сборник материалов научно-технической конференции “Научные аспекты и актуальные проблемы разработки, производства, испытаний и применения ОПН”. –СПб.: АООТ “НИИ Электрокерамика“, 8-10 октября 2001. –с.108-113.

55. Гайворонский А.С., Клепиков А.В.. Разрядники подвешенного исполнения на основе нелинейных ZnO сопротивлений с внешним искровым промежутком на классы напряжения 110-500 кВ//Сборник трудов международной научно-технической конференции “Передача энергии переменным током на дальние и сверхдальние расстояния”. –Новосибирск, 15-19 сентября 2003.
56. Дмитриев В.Л., Дмитриев М.В. Использование ограничителей перенапряжений для защиты изоляции ВЛ от обратных перекрытий при ударах молнии в опору или грозозащитный трос//Сборник докладов научно-технической конференции “Интеграция науки и производства”: Доклад 3.06. –М., 26-27 мая 2004.
57. Халилов Ф.Х. Исследование технико-экономической обоснованности грозозащиты ВЛ с помощью ОПН//Сборник докладов 8-й научно-технической конференции по электромагнитной совместимости и электромагнитной безопасности «ЭМС-2004». –СПб., 2004. –с.50-56.
58. Дмитриев В.Л., Дмитриев М.В. Подвесные ОПН для защиты изоляции ВЛ//Энергетик. –2005. –№3. –с.21-25.
59. Дмитриев М.В., Евдокунин Г.А. Применение ОПН для защиты изоляции воздушных линий от грозовых перенапряжений//Сборник докладов научно-технической конференции «Нелинейные ограничители перенапряжений: производство, технические требования, методы испытаний, опыт эксплуатации, контроль состояния», 5-10 декабря 2005. –СПб.: Изд-во ПЭИПК Минтопэнерго РФ, 2005. –164 с.
60. Furukawa S., Usuda O., Isozaki T. Development and application of lightning arresters for transmission lines//IEEE Transactions on Power Delivery. –1989. –№4. –Vol.4. –pp.2121-2127.
61. McDermott T.E., Short T.A., Anderson J.G. Lightning protection of distribution lines//IEEE Transactions on Power Delivery. –1994. –№1. –Vol.9. –pp.138-146.
62. Kawamura T., Inoue A., Murusawa I. Experience and effectiveness of application of arresters to overhead transmission lines//CIGRE Session 1998, Report No. 33-301.

63. Demailly B., Maciela F., Tartier S. Installation of composite surge arresters on transmission line//CIGRE Session 2002, Report No. 33-203.
64. Zanetty L.C. Evaluation of line surge arrester failure rate for multiphase lightning stresses//IEEE Transaction on Power Delivery. –2003. –№3. –Vol.18. –pp.796-801.
65. ГОСТ 1516.2-96. Электрооборудование переменного тока на напряжения от 1 до 750 кВ. Требования к электрической прочности изоляции: Межгос. стандарт. –Введ. 01.01.99. –М.: ИПК Издательство стандартов, 1998. –32 с.
66. Костенко М.В., Половой И.Ф., Розенфельд А.Н. Роль прорывов молнии на провода мимо тросов для грозозащиты линий высших классов напряжения// Электричество. –1961. –№4. –с.20-26.
67. Корявин А.Р., Волкова О.В., Трифонов В.З. Оценка влияния импульсной прочности линейной изоляции на грозоупорность линий электропередачи 110 кВ//Электричество, –2004. –№6. –с.8-17.
68. Гайворонский А.С., Карасюк К.В. Новые методические принципы оценки грозоупорности воздушных линий электропередачи высших классов напряжения//Научный вестник НГТУ. –1998. –№2(5). –с.9-32.