

# Оценка защищенности оборудования подстанций от грозových перенапряжений

(Дмитриев М.В.)

## 1. Введение

Анализ грозových перенапряжений на оборудовании ПС может проводиться одним из следующих способов:

- расчет перенапряжений и их сравнение с допустимыми для изоляции оборудования уровнями, которые принимаются несколько ниже, чем испытательные напряжения изоляции по ГОСТ 1516.3-96;
- получение оценки числа лет безаварийной работы оборудования при грозových перенапряжениях и ее сравнение с рекомендуемыми значениями, приведенными, например, в [1];
- сравнение расстояний от оборудования до защитных аппаратов с допустимыми по ПУЭ [2] значениями.

Вне зависимости от способа проведения анализа защищенности оборудования ПС от грозových перенапряжений приходится сталкиваться с трудностями, некоторые из них изложены ниже.

## 2. Расчет перенапряжений и их сравнение с допустимыми уровнями

В ГОСТ 1516.3-96 приведены испытательные напряжения оборудования различных классов напряжения, полученные для полной и срезанной грозовой волны. При этом параметры полной и срезанной волн регламентируются этим ГОСТ.

При расчетах грозových перенапряжений воздействующие на изоляцию оборудования перенапряжения имеют различные максимальные значения и различную форму импульсов. Корректная оценка допустимости воздействия на изоляцию оборудования импульсов грозových перенапряжений различной формы затруднена, так как в ГОСТ 1516.3-96 рассмотрены всего две формы грозových импульсов напряжения на изоляции, имеющих мало общего с реальными воздействующими.

Кроме того, не ясно, каким образом учесть то, что оборудование в цикле испытаний подвергается воздействию незначительного числа грозových импульсов напряжения, а в эксплуатации число грозových импульсов может быть заметно больше.

### 3. Расчет числа лет безаварийной работы $M$ и сравнение с допустимым

Общепринятой оценкой надежности защиты оборудования от грозовых перенапряжений является число лет безаварийной работы оборудования  $M$ . Рекомендуемые [1] показатели надежности грозозащиты наиболее дорогого и ответственного подстанционного оборудования (силовых трансформаторов, автотрансформаторов и шунтирующих реакторов) приведены ниже

$U_{\text{ном}},$ кВ	110	220	330	500	750
$M,$ годы	300– 400	400– 600	600– 800	800– 1000	1000– 1200

Многие ПС имеют несколько открытых распределительных устройств различных классов напряжения, соединенных автотрансформаторной связью. Предположим, что на ПС установлен автотрансформатор 500/220 кВ. Согласно [1] для основного оборудования ОРУ 500 кВ (силовых трансформаторов) надежность защиты от грозовых перенапряжений должна быть не хуже  $M = 800 \div 1000$  лет. По [1] для основного оборудования 220 кВ (обмотка 220 кВ того же автотрансформатора) надежность защиты от грозовых перенапряжений должна быть не хуже  $M = 400 \div 600$  лет. Как видно, из [1] получается, что надежность защиты от грозовых перенапряжений одного и того же трансформатора со стороны 220 кВ может быть принята в два раза ниже, чем со стороны 500 кВ!

Учитывая изложенную некорректность в анализе надежности защищенности оборудования от грозовых перенапряжений по [1], а также большое число влияющих на результаты расчетов  $M$  исходных данных, достоверное знание и задание которых невозможно, едва ли есть необходимость в получении конкретного значения числа  $M$ .

В большинстве случаев достаточно оценить порядок величины  $M$ . В использовании методики построения кривой опасных волн, описанной в [2], и определении «точного» значения числа  $M$ , получаемого зачастую сильно заниженным, необходимости нет.

Схемы защиты оборудования ОРУ от грозовых перенапряжений таковы, что наиболее близко защитные аппараты расположены к обмоткам силовых трансформаторов и автотрансформаторов. Это означает, что перечисленное оборудование является наиболее защищенным и, как правило, защищенность этого оборудования с запасом удовлетворяет рекомендациям [1].

Общий уровень защищенности ПС от грозовых перенапряжений определяется второстепенным оборудованием ОРУ, которое наиболее удалено от защитных аппаратов – например, конденсаторы связи, установленные на присоединенных воздушных линиях (ВЛ). Именно необходимость повышения защищенности второстепенного оборудования приводит к установке в ОРУ дополнительных защитных ОПН, размещенных,

например, в линейных ячейках или на сборных шинах у измерительных трансформаторов напряжения. Поэтому важно верно оценивать достаточность защищенности второстепенного оборудования от грозовых перенапряжений, т.е. сравнивать результаты расчетов защищенности этого оборудования с рекомендуемыми уровнями.

Однако тут возникают проблемы, связанные с тем, что в [1] указаны рекомендуемые уровни защищенности основного оборудования ОРУ, т.е. трансформаторов и автотрансформаторов. Для прочего оборудования в [1] отмечается, что защищенность может быть ниже, чем для основного оборудования. Однако в [1] не указано, на сколько именно ниже, что делает получение оценок защищенности оборудования ОРУ бессмысленным (сравнивать не с чем).

#### **4. Сравнение расстояний с допустимыми по ПУЭ**

В ПУЭ [3] для различных схем ОРУ приведены допустимые расстояния от оборудования до защитных аппаратов. В качестве защитных аппаратов ПУЭ рассматривает один или два вентильных разрядника. Вместе с тем в ОРУ многих ПС установлено более двух защитных аппаратов, что затрудняет использование данных ПУЭ для оценок защищенности оборудования от грозовых перенапряжений таких ПС.

Вентильные разрядники сняты с производства и постепенно заменяются на современные ограничители перенапряжений типа ОПН. Требования ПУЭ не распространяются на случаи использования ОПН в качестве защитных аппаратов.

Для того, чтобы использовать ПУЭ и для схем ОРУ с установленными ОПН, некоторыми исследователями осуществляется пересчет допустимых расстояний от оборудования до защитных аппаратов, в основе которого лежит соотношение остающихся напряжений разрядника и ОПН. Такой пересчет выполняется на основе линейной экстраполяции данных ПУЭ, т.е. в предположение, что снижение остающегося напряжения ОПН по сравнению с разрядником приводит к пропорциональному увеличению допустимых расстояний до оборудования. Проведенные автором этой статьи исследования грозовых перенапряжений для ОРУ нескольких десятков ПС 110-750 кВ на территории РФ показали, что допустимые расстояния между защищаемым оборудованием и защитными аппаратами сильно нелинейно зависят от остающегося напряжения на защитном аппарате. Широко распространенный линейный пересчет расстояний приводит к неверным результатам!

Кроме того, допустимые расстояния зависят от того, в какой последовательности находится защищаемое оборудование и защитный аппарат по ходу набегающей грозовой волны. Учет указанного фактора по непонятным причинам большинством исследователей не производится.

Можно показать, что на каждой из присоединенных к ОРУ 220 кВ воздушной линии 220 кВ (аналогичные рассуждения можно провести для класса 110 кВ) в непосредственной близости от ПС возможно одно обратное перекрытие за 200-300 лет, т.е. 2-3 раза за нормируемый срок  $M = 400 \div 600$  лет безаварийной работы оборудования 220 кВ при грозовых перенапряжениях. Поэтому надежность защиты оборудования ОРУ от грозовых перенапряжений определяется надежностью защиты от грозовых волн, вызванных близкими к ПС обратными перекрытиями на ВЛ 220 кВ, и не должна зависеть от длины защищенного подхода ВЛ к ПС (если длина этого подхода более  $0.5 \div 1.0$  км). Вместе с тем, в ПУЭ имеет место существенный рост допустимых расстояний между оборудованием и защитными аппаратами при увеличении длины защищенного подхода ВЛ.

В ПУЭ допустимые расстояния между оборудованием и защитными аппаратами никак не зависят от сопротивления заземления опор ВЛ на подходах к ПС. Указано лишь, что в зависимости от удельного сопротивления грунта (до  $100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ,  $100-500 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ , более  $500 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ) сопротивление заземления опор должно быть не более 10, 15 или 20 Ом.

В [4] утверждается, что требования ПУЭ были сформулированы на основе расчетов, которые проведены для нулевого сопротивления заземления опор. Однако несложно показать, что получаемая надежность защиты оборудования ОРУ-220 от грозовых перенапряжений зависит от сопротивления заземления ближайших к ПС опор, снижаясь с ростом сопротивления заземления. Требования ПУЭ этого никак не отражают, а расстояния по ПУЭ, будучи полученными при нулевых сопротивлениях заземления опор, являются завышенными.

Кроме того, число лет безаварийной работы оборудования ПС, очевидно, прямо пропорционально числу грозовых часов в году, т.е. активности грозовой деятельности в районе ПС. Требования ПУЭ не зависят от числа грозовых часов в году, что качественно неверно. Согласно [4] требования ПУЭ получены при 30 грозовых часах в году. Вместе с тем, число грозовых часов во многих районах РФ более 50-60 часов. Это означает, что требования ПУЭ не только качественно, но и количественно неверны и требуют пересмотра (допустимые расстояния будут снижены по сравнению с приведенными в ПУЭ значениями).

Требований ПУЭ к схемам защиты оборудования ОРУ от грозовых перенапряжений не пересматривались с 1961 года, т.е. более 40 лет.

При формулировании требований ПУЭ в 1961 году еще не было класса напряжения 750 кВ. С тех пор прошло много времени и указанный класс напряжения используется в России уже очень давно, однако до сих пор он не включен в ПУЭ.

Вместо кардинального пересмотра требований ПУЭ в настоящее время их корректируют на случаи использования в качестве защитных аппаратов современных ОПН, что приводит к дополнительному увеличению (так как остающееся напряжение большинства ОПН ниже, чем у разрядников РВС и РВМГ) и без того завышенных допустимых расстояний.

## 5. Заключение

Существует несколько подходов к оценке защищенности оборудования распределительного устройства от грозовых перенапряжений. Основными подходами являются:

- проведение расчетов перенапряжений в условиях каждой конкретной ПС и сравнение полученных оценок защищенности оборудования с рекомендуемыми для данного класса напряжения значениями;
- сравнение расстояний от оборудования до защитных аппаратов с допустимыми расстояниями для данного класса напряжения и данной главной схемы соединения оборудования.

В настоящее время перечисленные подходы к оценке грозоупорности имеют большое число недостатков, которые требуют устранения:

- необходимо сформулировать рекомендации по минимально допустимым уровням защищенности от грозовых перенапряжений изоляции второстепенного (не основного) оборудования ОРУ 110-750 кВ по аналогии с тем, как это сделано в [1] для основного оборудования, т.е. для силовых трансформаторов, автотрансформаторов и шунтирующих реакторов;
- необходимо кардинально пересмотреть требования ПУЭ к расстояниям от защитных аппаратов до защищаемого оборудования: расстояния должны зависеть от числа грозовых часов в районе ПС, от сопротивления заземления опор ВЛ на подходах к ПС, от остающегося напряжения на защитных аппаратах; должен быть добавлен класс напряжения 750 кВ.

## Литература

- [1] РАО “ЕЭС России”. “Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений”. Санкт-Петербург, Издательство ПЭИПК, 1999.
- [2] Костенко М.В., Ефимов Б.В., Зархи И.М., Гумерова Н.И. “Анализ надежности грозозащиты подстанций”. – Л.: «Наука», 1981.
- [3] Правила устройства электроустановок. 7-е издание.
- [4] Гумерова Н.И. “Проектирование грозозащиты ОРУ станций и подстанций”. – Сборник докладов восьмой российской научно-технической конференции по электромагнитной совместимости и электромагнитной безопасности, С-Пб, 2004.