

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО**

*Ю.Э. Адамьян, С.И. Кривошеев, С.Г. Магазинов*

**Исследование импульсной прочности воздушной изоляции  
изоляционных конструкций с использованием генератора импульсных  
напряжений ГИН-600**

Учебное пособие

**Санкт-Петербург  
2019**

Пособие соответствует содержанию программы по направлению подготовки 1 3.03.02 Электроэнергетика и электротехника, по профилю подготовки 13.03.02\_07 Высоковольтные электроэнергетика и электротехника

Пособие имеет учебно-методическое назначение для выполнения лабораторных работ, связанных с изучением особенностей электрической прочности изоляционных промежутков при импульсном воздействии

Предназначено для выполнения лабораторного практикума студентами дневной, очно-заочной, заочной форм обучения и экстернами, изучающими дисциплину «Техника высоких напряжений» К.М.06.01.

## Оглавление

Общие сведения .....	4
Перечень лабораторных работ .....	9
Работа №1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ РАЗРЯДНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ВОЗДУШНОГО ПРОМЕЖУТКА ШАРОВОГО РАЗРЯДНИКА (Калибровка измерительного тракта по 50% разрядному напряжению для стандартного импульса).....	9
Работа №2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ РАЗРЯДНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИЗОЛЯТОРОВ.....	13
2.1    Программа работы .....	13
2.2.    Пояснения к работе .....	13
2.3.    Определение 50 %-ного разрядного напряжения штыревого изолятора при положительной полярности грозового импульса .....	13
2.4.    Определение 50 %-ного разрядного напряжения штыревого изолятора при отрицательной полярности грозового импульса .....	15
2.5.    Содержание отчета .....	16
Работа №3. ВОЛЬТ-СЕКУНДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗОЛЯТОРОВ .....	17
3.1.    Программа работы .....	17
3.2.    Пояснения к работе .....	17
3.3.    Снятие вольт-секундной характеристики изолятора при положительной полярности грозового импульса .....	18
3.4.    Снятие вольт-секундной характеристики изолятора при отрицательной полярности грозового импульса.....	18
3.5.    Содержание отчета .....	19
Работа №4. ВОЛЬТ-СЕКУНДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ .....	20
4.1.    Программа работы .....	20
4.2.    Пояснения к работе .....	20
4.3.    Содержание отчета .....	21
Работа № 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ ОГРАНИЧЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ.....	22
5.1.    Программа работы .....	22
5.2.    Пояснения к работе .....	22
Приложение.....	26
П1. Разрядные напряжения шаровых разрядников.....	26
П2. Приведение результатов измерений к нормальным атмосферным условиям.....	27
П3. Требования к испытаниям штырьевых изоляторов.....	29

## Общие сведения

Импульсное высокое напряжение используется для имитации перенапряжений, возникающих при грозовых поражениях элементов энергосистем, при испытании высоковольтной изоляции электрооборудования: трансформаторов, реакторов, выключателей, изоляторов и т.д. Необходимы генераторы импульсных напряжений и при исследованиях, связанных с созданием новых изоляционных материалов и изоляционных конструкций.

Работа большинства генераторов импульсных напряжений основана на принципе, предложенном В.К. Аркадьевым и Н.В. Баклиным. Принцип работы заключается в следующем. Группа конденсаторов заряжается в параллельной схеме соединения до определенного напряжения. Затем с помощью высоковольтного коммутирующего устройства конденсаторы переключаются в последовательную схему включения. В результате напряжение между началом и концом этой цепочки суммируется, достигая величины  $nU_z$ , где  $n$  – число последовательно включенных конденсаторов, а  $U_z$  – напряжение, до которого они были заряжены. Автоматическое и быстрое переключение схемы с параллельного на последовательное соединение осуществляется с помощью шаровых искровых промежутков.

В высоковольтной лаборатории высшей школы энергетики для проведения лабораторных работ по исследованию процессов взаимодействия импульсного напряжения с элементами высоковольтных конструкций используется генератор импульсных напряжений ГИН-600. Этот генератор формирует на выходе стандартный грозовой импульс положительной или отрицательной полярности, который может подаваться на различные объекты исследований.

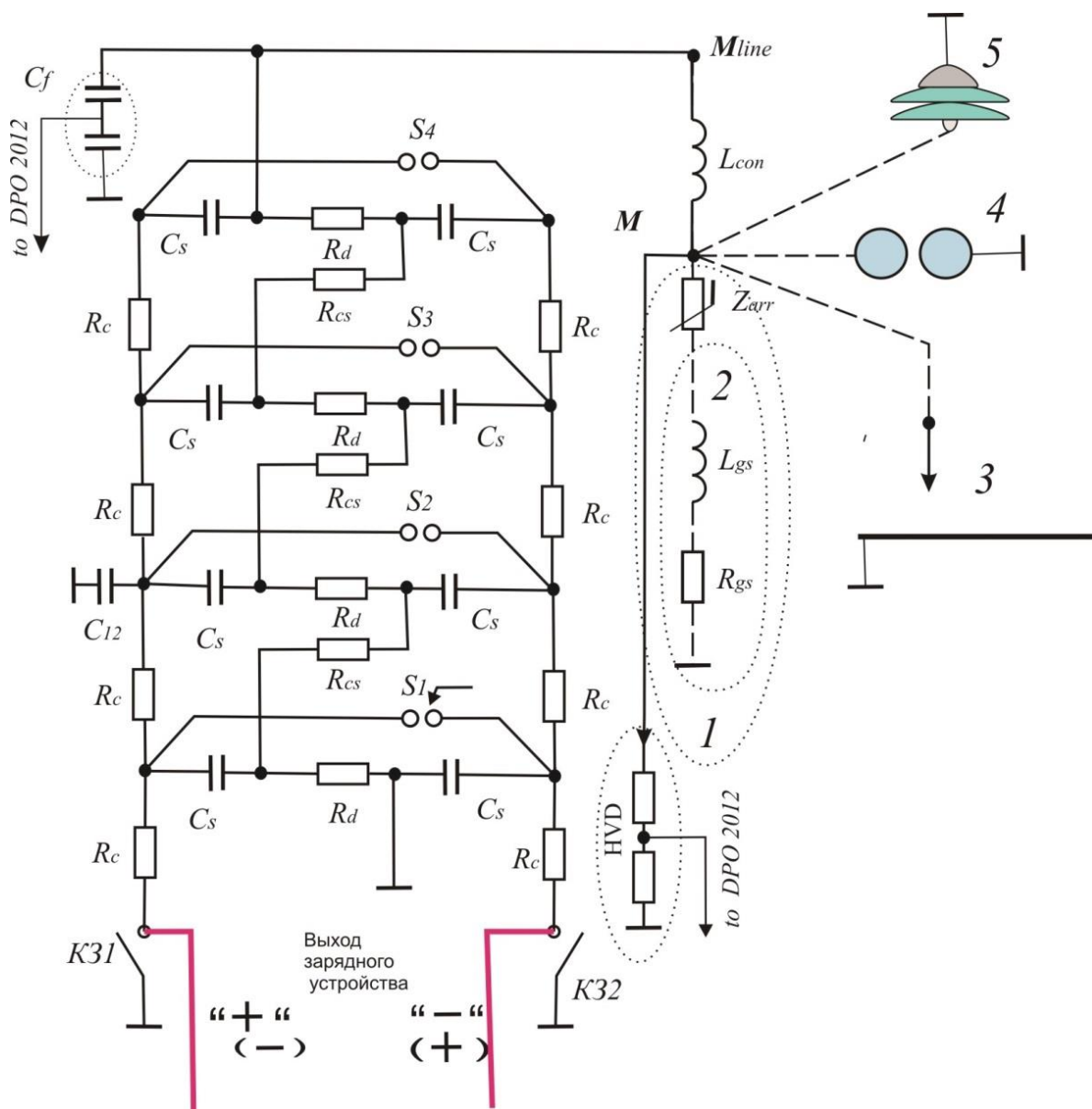


Рис.1. Схема ГИН-600 высоковольтной лаборатории ВШЭ ИЭ.

1 – нелинейный ограничитель напряжения с эквивалентной схемой заземляющего устройства 2; 3 – промежуток острие-плоскость; 4 – шаровой измерительный разрядник; 5 – изоляционная конструкция.

Полярность выходного импульса определяется порядком подключения выхода источника зарядного напряжения к клеммам ГИТ.

Генератор состоит из четырех уровней\ступеней, на каждом из которых установлены по два конденсатора  $C_s$ , заряжаемых напряжением разного знака до одного уровня  $U_z$ . Уровень зарядного напряжения устанавливается путем вращения ручки (поз.6 рис.2) и контролируется по

показаниям индикатора (поз. 10 рис.2). По достижении заданного зарядного напряжения происходит запуск разрядника первого уровня\ступени  $S_1$ , при этом на резисторе  $R_d$  первого этажа формируется импульс напряжения, амплитуда которого равна удвоенному зарядному напряжению, который через сопротивление  $R_{cs}$  передается на следующий уровень\ступень ГИНа. Появление этого импульса приводит пробоем разрядника  $S_2$  в результате возникающего перенапряжения в воздушном промежутке между шаровыми электродами разрядника. Аналогичным путем происходит включение разрядников последующих уровней\ ступень ГИН. В результате срабатывания всех разрядников на выходе ГИН формируется импульс напряжения с амплитудой равной  $(U_z * 2)^n$ , а суммарная емкость становится в «n» раз меньше емкости одной ступени ГИН. При этом длительность фронта импульса определяется постоянной времени  $\tau = nR_{cs} * C_f$ , а длительность импульса (по полувысоте) постоянной времени  $0.5C_s * R_d$ .

Надежная оценка электрической прочности изоляции при воздействии грозových перенапряжений может быть дана только после ее импульсных испытаний. Импульсные испытания являются обязательными типовыми испытаниями. Величина разрядного напряжения при воздействии импульсного напряжения зависит от формы воздействующего на изоляцию напряжения. Поэтому сравнение результатов испытаний изоляции и исследований импульсной электрической прочности изоляции электрооборудования возможно только при полной идентичности воздействий. В связи с этим формы волн импульсных испытательных напряжений во всех странах регламентируются и должны находиться в соответствии с формой волн, возникающих при грозových разрядах. Полная волна является апериодической волной определенной полярности, которая без заметных колебаний достигает своего наибольшего (амплитудного) значения за короткий промежуток времени и затем более медленно спадает до нуля. Участок волны, на котором напряжение нарастает до

амплитудного значения, называют фронтом волны, а последующий участок – спадом волны.

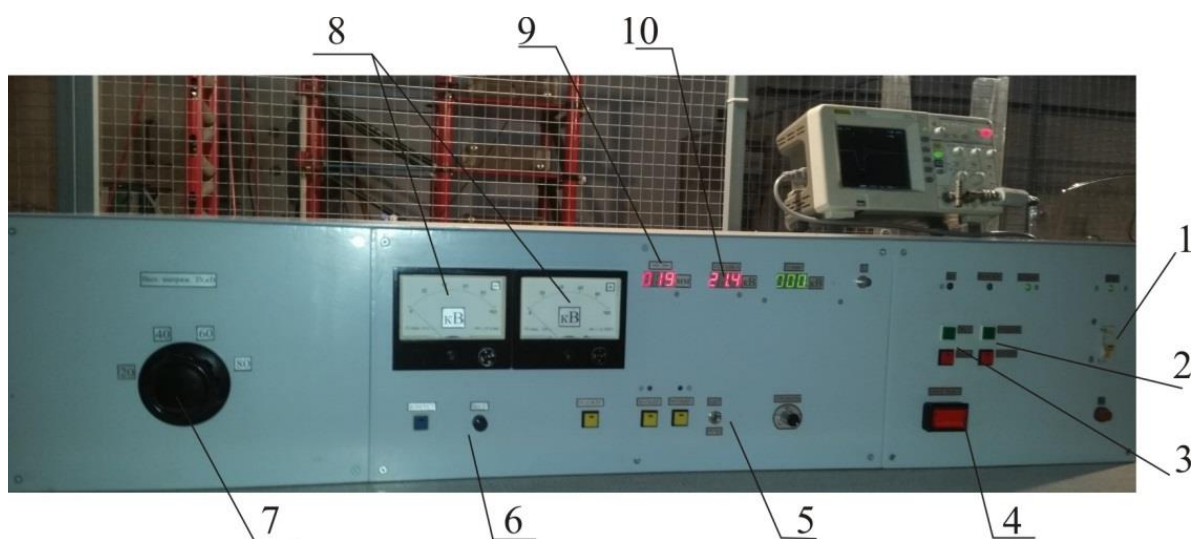


Рис.2. Пульт управления ГИН-600.

1-клавиша включения питания, 2- снятие механического заземления, 3 – кнопка включения высокого напряжения, 4- кнопка аварийной остановки\выключения ГИН, 5- тумблер переключения режима работы «автоматический/ручной», 6 – управление уставкой зарядного напряжения конденсаторов, 7 – регулировка скорости заряда конденсаторов, 8 – контроль заряда конденсаторов, 9 –индикатор расстояния между шарами разрядников ГИН, 10 – индикатор установленного уровня зарядного напряжения конденсаторов.

Условия импульсных испытаний и формы испытательных волн, принятые в России, определены ГОСТ 1516-76. Основными параметрами импульсных волн являются: полярность, амплитудное значение  $U_m$ , длина фронта волны  $\tau_f$  и длина волны  $\tau_v$ .

На осциллографах сложно определить начало волны, поэтому под длительностью фронта понимают длительность спрямленного фронта (рис. 3). Методика определения длительности спрямленного фронта достаточно ясна из рис. 3. Длительность волны определяется временем от начала спрямленного фронта до момента, когда напряжение волны

снизится до половины амплитудного (рис. 3, а). В России в качестве стандартной полной волны принята волна, имеющая параметры:  $\tau_{\phi} = 1,2 \pm 0,4$  мкс и  $\tau_{в} = 50 \pm 10$  мкс.

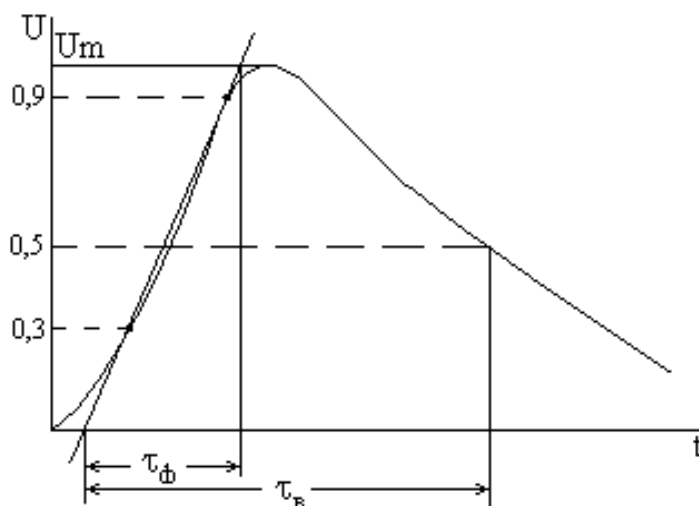


Рис. 3. Формы стандартной грозовой волны импульсного напряжения

Разрядная цепь ГИН приведена на рис. 1. Импульс напряжения формируется в точке **M**line и соединительным проводом передается в точку **М**. К этой точке могут подключаться различные объекты, предназначенные для испытаний. В качестве примера приведены: 1 – нелинейный ограничитель напряжения с эквивалентной схемой заземляющего устройства 2; 3-промежуток острие-плоскость; 4 – шаровые разрядники; 5 – изоляционная конструкция.

Шаровые разрядники являются стандартным устройством для измерения высокого напряжения. Разрядные напряжения для различных расстояний между электродами шаровых разрядников протабулированы и приведены в **таблице П1**. На установке ГИТ-600 используются шаровые измерительные разрядники с диаметром электродов 12.5 см.



## **Перечень лабораторных работ**

Согласно перечню общих лабораторных работ, проводимых по курсу ТВН в ВШЭ ИЭ, на установке ГИН-600 проводятся следующие лабораторные работы:

- 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ РАЗРЯДНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ВОЗДУШНОГО ПРОМЕЖУТКА ШАРОВОГО РАЗРЯДНИКА**
- 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ РАЗРЯДНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИЗОЛЯТОРОВ**
- 3. ВОЛЬТ-СЕКУНДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗОЛЯТОРОВ**
- 4. ВОЛЬТ-СЕКУНДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ**
- 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ ОГРАНИЧЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ**

### **Работа №1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ РАЗРЯДНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ВОЗДУШНОГО ПРОМЕЖУТКА ШАРОВОГО РАЗРЯДНИКА (Калибровка измерительного тракта по 50% разрядному напряжению для стандартного импульса)**

Для измерения параметров импульса напряжений на установке ГИН-600 используется импульсный омический делитель НVD (см. рис.1), сигнал с которого посредством кабельного тракта передается на осциллограф. Определение коэффициента передачи измерительного тракта производится путем сопоставления регистрируемого на осциллографе сигнала с величиной пятидесятипроцентного разрядного напряжения воздушного промежутка между электродами шарового разрядника.

Далее необходимо провести следующие действия:

- 1.1. В шаровом измерительном разряднике установить зазор в диапазоне 5-8 см.
- 1.2. снять заземляющие штанги с ГИН и закрыть калитку ограждения, установить предупреждающий плакат «Высокое напряжение. Опасно для жизни»;
- 1.3. включить осциллограф и подключить к нему измерительный тракт;
- 1.4. на пульте управления нажать кнопку «разблокировать» (поз.2 рис.2) – короткозамыкатели КЗ1 и КЗ2 отключают зарядные контакты ГИН от заземлителя;
- 1.5. ручкой регулятора зарядного напряжения (поз. 6 рис.2) установить на индикаторе уровня зарядного напряжения (поз. 10 рис.2) значение напряжения в диапазоне 20-25 кВ;
- 1.6. регулятор скорости заряда установить в позицию, соответствующую выбранному уровню зарядного напряжения;
- 1.7. включить тумблер переключения режимов работы (поз.5 рис.2) в положение «автоматический»;
- 1.8. включить кнопку «ВКЛ» (поз.3 рис.2) –начинается процесс заряда конденсаторов ГИН, напряжение на которых контролируется стрелочными вольтметрами (поз. 8 рис.2);

При достижении напряжения заряда заданного значения происходит срабатывание ГИН и стандартный грозовой импульс подается на разрядный промежуток.

Если на этих импульсах не происходит пробоя разрядного промежутка, следует ручкой регулятора зарядного напряжения (поз. 6 рис.2) увеличить уровень зарядного напряжения, при этом в автоматическом режиме произойдет изменение расстояние между электродами разрядников ГИН, которое будет отражаться на индикаторе (поз. 9 рис.2). При этом необходимо отслеживать соответствие положения регулятора скорости заряда (поз. 7

рис.2) выбранному напряжению заряда (поз. 10 рис.2). При этом обеспечивается заданный уровень заряда конденсаторов ступеней ГИН с допустимой неравномерностью. Затем снова нажать кнопку «ВКЛ» (поз.3 рис.2). Такое регулирование выходного напряжения нужно осуществлять до тех пор, пока вероятность пробоя шарового разрядника, как отношение числа разрядов к числу приложенных импульсов, не станет близкой 50 %. В лабораторной работе вероятность пробоя промежутка рекомендуется определять исходя из 10–15 срабатываний ГИН. Если вероятность пробоя промежутка больше 50 %, то напряжение заряда следует уменьшить, если меньше - увеличить.

1.9. Зафиксировать на осциллографе импульс напряжения и определить амплитуду импульса  $U_{50\%осц}$  в вольтах (см. рис. 4).

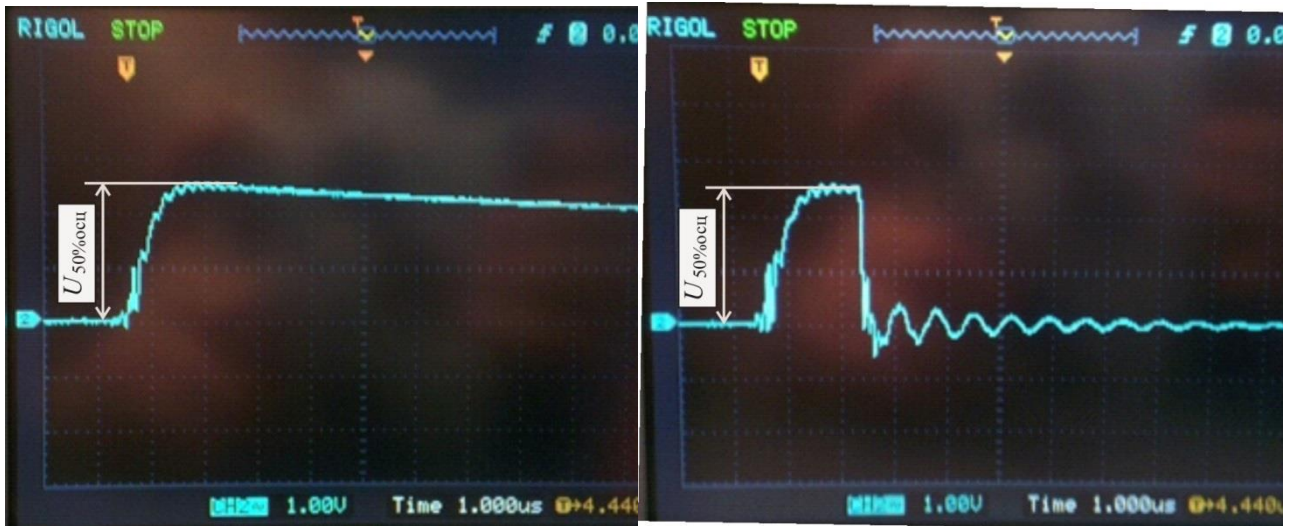
Полученный импульс напряжения на осциллографе соответствует 50% разрядному напряжению шарового разрядника с установленным (см. п.1.1.) зазором.

1.10. Произвести отключение питания пульта управления ГИН-600 путем нажатия кнопки «ВЫКЛ» поз.2 рис.2;

1.11. Наложить заземляющую штангу на выход ГИН-600.

Далее по **таблице П1** определяется разрядное напряжение шарового разрядника, значение которого в соответствии с требованием ГОСТ 17512-82 должно быть откорректировано с учетом температуры и атмосферного давления на момент проведения эксперимента (см. Приложение П2). Определенное по описанной выше процедуре напряжение и является пятидесятипроцентным пробивным напряжением  $U_{50\%}$  в киловольтах. Коэффициент передачи измерительного тракта по напряжению будет

определяться из соотношения  $k_m = U_{50\%} / U_{50\%осц}$ , и имеет размерность  $\left[ \frac{\text{кВ}}{\text{В}} \right]$ .



а) нет пробоя промежутка

б) пробой промежутка

Рис. 4. Типичные осциллограммы импульса напряжения с амплитудой, соответствующей 50%-ному пробивному напряжению

Дальнейшее измерения параметров импульса проводится путем осциллографирования процесса и определение реального напряжения на объекте  $U_{об}$  путем пересчета по формуле  $U_{об} = k_m U_{осц}$ , где  $U_{осц}$  - напряжение на осциллографе в вольтах,  $U_{об}$  - напряжение на объекте в киловольтах.

## Работа №2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ РАЗРЯДНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИЗОЛЯТОРОВ

### 2.1 Программа работы

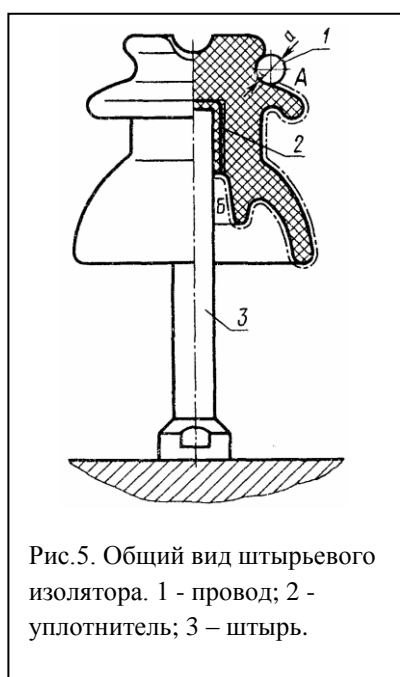
Определить 50 %-ное разрядное напряжение штыревого изолятора при полярности грозового импульса:

- а) положительной;
- б) отрицательной.

### 2.2. Пояснения к работе

Одной из важнейших характеристик высоковольтных изоляторов является 50 %-ное разрядное напряжение. Оно нормируется ГОСТом для каждого вида изоляторов и используется при выборе и координации изоляции высоковольтных энергетических установок.

### 2.3. Определение 50 %-ного разрядного напряжения штыревого изолятора при положительной полярности грозового импульса



Определение 50 %-ного разрядного напряжения штыревого изолятора при положительной полярности грозового импульса осуществляется на установке ГИН-600, разрядная схема которой приведена на рис. 1. Перед измерениями следует записать показания сухого и влажного термометров лабораторного психрометра. Испытуемый изолятор ШФ-10 (см. рис. 5) подключить к выходу ГИН (см. рис. 1).

Далее необходимо провести следующие действия:

- 2.3.1. Подключить изолятор в соответствии с рекомендациями ГОСТ к выходу ГИН-600 (см. Приложение).

- 2.3.2. снять заземляющие штанги с ГИН и закрыть калитку ограждения, установить предупреждающий плакат «Высокое напряжение. Опасно для жизни»;
- 2.3.3. включить осциллограф и подключить к нему измерительный тракт;
- 2.3.4. на пульте управления нажать кнопку «разблокировать» (поз.2 рис.2);
- 2.3.5. ручкой регулятора зарядного напряжения (поз. 6 рис.2) установить на индикаторе уровня зарядного напряжения (поз. 10 рис.2) значение напряжения в диапазоне 20-25 кВ;
- 2.3.6. регулятор скорости заряда установить в позицию, соответствующую выбранному уровню зарядного напряжения;
- 2.3.7. включить тумблер переключения режимов работы (поз.5 рис.2) в положение «автоматический»;
- 2.3.8. включить кнопку «ВКЛ» (поз.3 рис.2) –начинается процесс заряда конденсаторов ГИН, напряжение на которых контролируется стрелочными вольтметрами (поз. 8 рис.2);

При достижении напряжения заряда заданного значения происходит срабатывание ГИН и стандартный грозовой импульс подается на изолятор.

Если на этих импульсах не происходит перекрытия изолятора, следует ручкой регулятора зарядного напряжения (поз. 6 рис.2) увеличить уровень зарядного напряжения, при этом в автоматическом режиме произойдет изменение расстояния между электродами разрядников ГИН, которое будет отражаться на индикаторе (поз. 9 рис.2). При этом необходимо отслеживать соответствие выбранного напряжения заряда (поз. 10 рис.2) положению регулятора скорости заряда (поз. 7 рис.2). Затем снова нажать кнопку «ВКЛ» (поз.3 рис.2). Такое регулирование выходного напряжения нужно осуществлять до тех пор, пока вероятность перекрытия изолятора, как отношение числа разрядов к числу приложенных импульсов, не станет

близкой 50 %. В лабораторной работе вероятность перекрытия изолятора рекомендуется определять исходя из 10–15 срабатываний ГИН. Если вероятность перекрытия изолятора больше 50 %, то напряжение заряда следует уменьшить, если меньше - увеличить.

2.3.9. Зафиксировать на осциллографе импульс напряжения и определить амплитуду импульса  $U_{(50\%осц)}$  в вольтах.

Полученный импульс напряжения на осциллографе соответствует 50% напряжению перекрытия изолятора.

2.3.10. Произвести отключение питания пульта управления ГИН-600 путем нажатия кнопки «ВЫКЛ» поз.2 рис.2.

2.3.11. Наложить заземляющую штангу на выход ГИН-600.

Зафиксировать путем регистрации на осциллографе импульс напряжения, при котором реализовался режим, соответствующий 50%-ой вероятности перекрытия изолятора. С учетом коэффициента передачи измерительного тракта (см. п.1) определить напряжение на изоляторе для 50 %-ной вероятности перекрытия изолятора.

С учетом рекомендаций, см. Приложение, провести приведение полученного значения к нормальным атмосферным условиям.

#### **2.4. Определение 50 %-ного разрядного напряжения штыревого изолятора при отрицательной полярности грозового импульса**

Для определения 50%-ного разрядного напряжения штыревого изолятора ШФ–10 при отрицательной полярности грозового импульса необходимо переключить высоковольтные провода, идущие с зарядного устройства ГИН (красные линии на рис.1) При этом полярность выходного импульса ГИН станет отрицательной. Далее следует выполнить те же действия, как описано в п. 2.3. При этом поправочный коэффициент на абсолютную влажность  $K_{\gamma} = K^{\omega}$ , где  $\omega = 0.8$ .

## 2.5. Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- а) принципиальную схему установки;
- б) осциллограммы импульсов напряжения, соответствующие уровню 50%-ного напряжения перекрытия изолятора, для каждой полярности;
- в) численные значения разрядных напряжений;
- г) выводы по работе.



## Работа №3. ВОЛЬТ-СЕКУНДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗОЛЯТОРОВ

### 3.1. Программа работы

Снять вольт-секундную характеристику изолятора при полярности грозового импульса:

- а) положительной;
- б) отрицательной.

### 3.2. Пояснения к работе

Вольт-секундная характеристика используется при координации изоляции и защитных аппаратов в случае воздействия перенапряжений грозового характера. Она представляет собой зависимость разрядного напряжения  $U_{br}$  от предразрядного времени  $t_z$  (см. рис. 6).

Поскольку разрядные напряжения и предразрядные времена всегда имеют статистические разбросы, то для получения наиболее достоверной вольт-секундной характеристики необходимо провести достаточно большое число измерений.



Результаты этих измерений на графике представляют собой «облако» точек, ограниченное сверху и снизу огибающими. При координации изоляции и защитных аппаратов для изоляции применяют вольт-секундную характеристику как нижнюю огибающую значений разрядных напряжений, а для защитных аппаратов – как верхнюю огибающую.

### **3.3. Снятие вольт-секундной характеристики изолятора**

#### **при положительной полярности грозового импульса**

Снятие вольт-секундной характеристики изолятора при положительной полярности грозового импульса осуществляется на установке, принципиальная схема которой приведена на рис. 1. Испытуемый изолятор ШФ–10 необходимо установить параллельно измерительному шаровому разряднику в центре заземленного металлического листа, записать показания сухого и влажного термометров лабораторного психрометра и определить поправочный коэффициент на абсолютную влажность  $K_{\gamma}$ , как это сделано в п. 2.3.

Определить коэффициент передачи измерительного тракта в соответствии с работой 1.

Далее провести действия в соответствии с пп.2.3.1-2.3.8.

Для построения вольт-секундной характеристики необходимо начиная с уровня напряжения, близкого к 50%-ному напряжению перекрытия фиксировать по осциллограммам значения напряжения перекрытия изолятора  $U_{br}$  и предразрядного времени  $t_z$ . Ручкой регулятора зарядного напряжения (поз. 6 рис.2) установить на индикаторе уровня зарядного напряжения (поз. 10 рис.2) значение напряжения, превышающее начальное на 1-2 кВ и провести испытание на установленном уровне зарядного напряжения. Ступенчато увеличивать напряжение заряда ГИН до тех пор, пока предразрядное время не уменьшится до значения 0.4-0.5 мксек. Число уровней/ступеней зарядного напряжения должно быть не менее 7.

На каждом уровне зарядного напряжения ГИН зафиксировать значения разрядного напряжения  $U_{br}$  и предразрядного времени  $t_z$  (см. рис. 6) не менее чем для 5 разрядов ГИН.

#### **3.4. Снятие вольт-секундной характеристики изолятора при отрицательной полярности грозового импульса**

Для снятия вольт-секундной характеристики изолятора при отрицательной полярности грозового импульса необходимо переключить

высоковольтные провода, идущие с зарядного устройства ГИН (красные линии на рис.1). При этом полярность выходного импульса ГИН станет отрицательной. Далее следует выполнить те же действия, как описано в п. 3.3.

### **3.5. Содержание отчета**

Отчет должен содержать:

- а) принципиальную схему установки;
- б) характерные расшифрованные осциллограммы;
- в) таблицы с результатами измерений;
- г) графики вольт-секундных характеристик;
- д) выводы по работе.

## Работа №4. ВОЛЬТ-СЕКУНДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ

### 4.1. Программа работы

Снять вольт-секундную характеристику воздушного промежутка при положительной и отрицательной полярности грозового импульса:

- в системе электродов шар-шар;
- в системе электродов острие-плоскость.

### 4.2. Пояснения к работе

Для получения вольт-секундных характеристик воздушных промежутков к выходу ГИН необходимо подключить или шаровой разрядник (поз. 4 рис.1) или искровой промежуток игла-плоскость (поз.3 рис.1). Установить для промежутка шар-шар расстояние между электродами 5-10 см, а для промежутка игла-плоскость установить расстояния 20-30 см.

Порядок дальнейших действий полностью соответствует процедуре получения вольт-секундных характеристик изолятора.

Типичный вид вольт-секундных характеристик изолятора и воздушного промежутка шар-шар приведен на рис. 7.

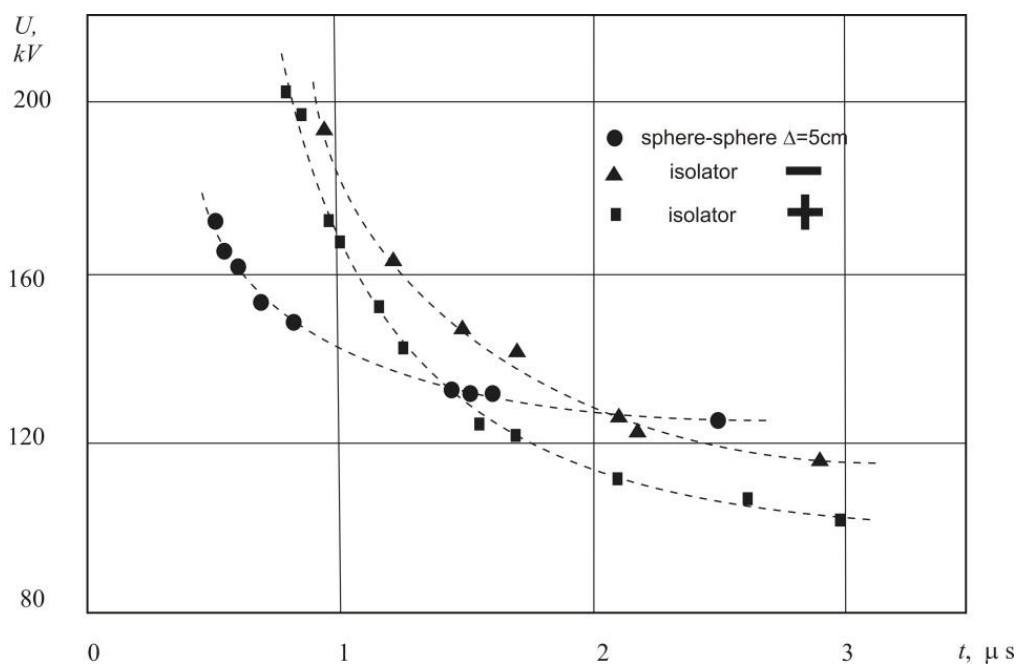


Рис. 7. Типичные вольт-секундные характеристики

### 4.3. Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- а) принципиальную схему установки;
- б) характерные расшифрованные осциллограммы;
- в) таблицы с результатами измерений;
- г) графики вольт-секундных характеристик;
- д) выводы по работе.

## Работа № 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ ОГРАНИЧЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ

### 5.1. Программа работы

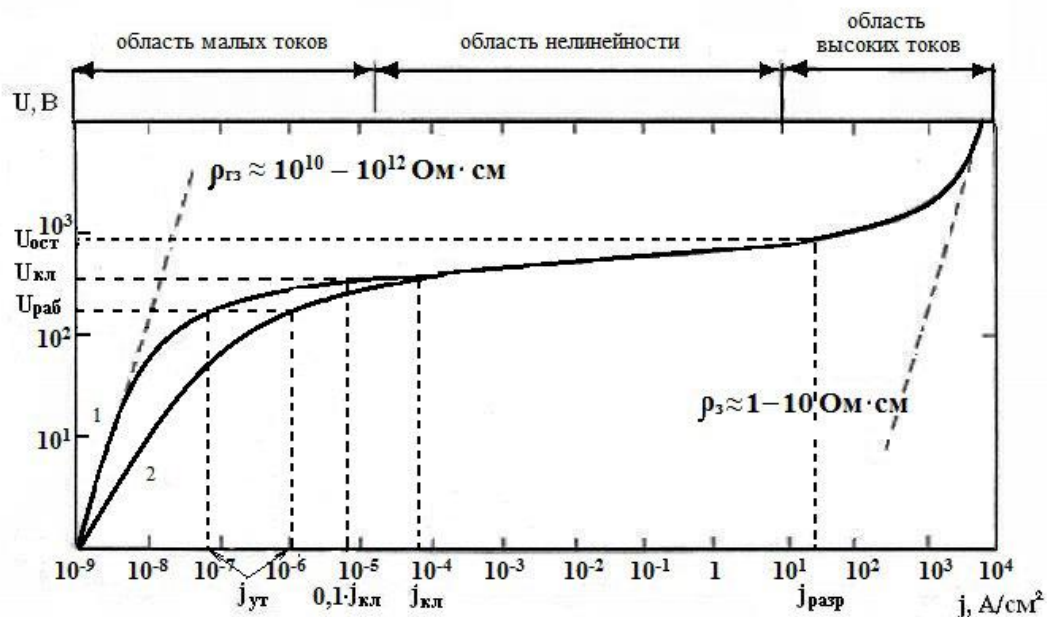
Определить уровень ограничения стандартного грозового импульса нелинейным ограничителем перенапряжений при положительной и отрицательной полярности импульса. Использовать ОПН, параметры которых приведены в **Таблице П4**.

### 5.2. Пояснения к работе

Нелинейные ограничители напряжения являются распространенным средством защиты элементов энергооборудования от грозовых перенапряжений. Они представляют собой размещенную в изоляционном корпусе колонку последовательно включенных варисторов, основной особенностью которых является нелинейная вольт-амперная характеристика, типичный вид которой приведен на рис. 8.

В рабочем режиме через варистор (как и ОПН) при напряжении ниже классификационного уровня проходит только ток утечки – область малых токов (см. рис.8), ВАХ в этой области линейна и определяющим является высокое удельное сопротивление материала варистора ( для оксидоцинковых варисторов  $10^{10}$ - $10^{12}$  Ом\*см), определяемое проводимостью зернограничного материала. Область нелинейности является основной рабочей областью варисторов, в которой при большом изменении токов (на 5-7 порядков) напряжение на варисторе меняется незначительно. В нелинейной области поведение вольт-амперной характеристики может описано зависимостью  $I \sim U^\alpha$ , где  $\alpha$  – коэффициент нелинейности.

В области больших токов, характерной для работы нелинейного элемента в условиях воздействия сильноточных грозовых импульсов, начиная с плотностей тока  $10^2$  А/см<sup>2</sup> ВАХ становится линейной, при этом проводимость определяется удельным сопротивлением зерен ZnO (0.1-10 Ом\*см)



**Рис.8.** Типичная вольт-амперная характеристика варистора с высокой (1) и низкой (2) нелинейностью.

### 5.3. Порядок выполнения работы

Определить в соответствии с процедурой, описанной в **Работе 1** коэффициент передачи измерительного тракта.

Далее, выполнить следующие действия:

- 5.3.1. Раздвинуть электроды шарового измерительного разрядника до предельного положения или отключить этот разрядник.
- 5.3.2. После этого подключить к выходу ГИН-600 (точка **М** рис.1) исследуемый ограничитель перенапряжений.
- 5.3.3. Установить уровень зарядного напряжения ступеней ГИТ, соответствующей выходному импульсу, амплитуда которого близка к остающемуся напряжению для испытуемого ОПН (см. **Таблица П4**) для импульса, близкого к грозовому.

- 5.3.4. Повышая напряжение выходного импульса выйти на режим ограничения напряжения (включения ОПН) и зафиксировать полученное значение выходного напряжения.
- 5.3.5. Повысить ступенчато на 3-5 кВ уровень зарядного напряжения ступеней ГИТ и зафиксировать осциллограмму напряжения на ОПН.
- 5.3.6. Нажать кнопку на пульте управления «Заблокировать» войти на испытательное поле и заземлить ГИН.
- 5.3.7. Отключить ОПН от выхода ГИН и снять заземляющую штангу с выхода ГИН.
- 5.3.8. Закрыть с наружной стороны входную калитку.
- 5.3.9. Включить ГИН и не меняя уровень зарядного напряжения, полученного при выполнении п.5.3.5 зафиксировать осциллограмму грозового импульса.
- 5.3.10. Выключить ГИН в соответствии с процедурой, описанной п.1.10 и п.1.11.
- 5.3.11. Произвести переключение полярности ГИН согласно рекомендациям п. 3.4. Провести действия в соответствии с пп.5.3.1-5.3.10.

Подключить оставшийся ОПН и провести действия, в соответствии с пп.5.3.1-5.3.11.

Типичный вид осциллограмм, получаемых при отключенном и подключенном ОПН к выходу ГИН приведены на рис. 9. Эти данные позволяют определить уровень остающегося напряжения при приходе на ОПН стандартного грозового импульса.

#### **5.4.Содержание отчета**

Отчет должен содержать:

- а) принципиальную схему установки;
- б) характерные расшифрованные осциллограммы;



в) выводы по работе.

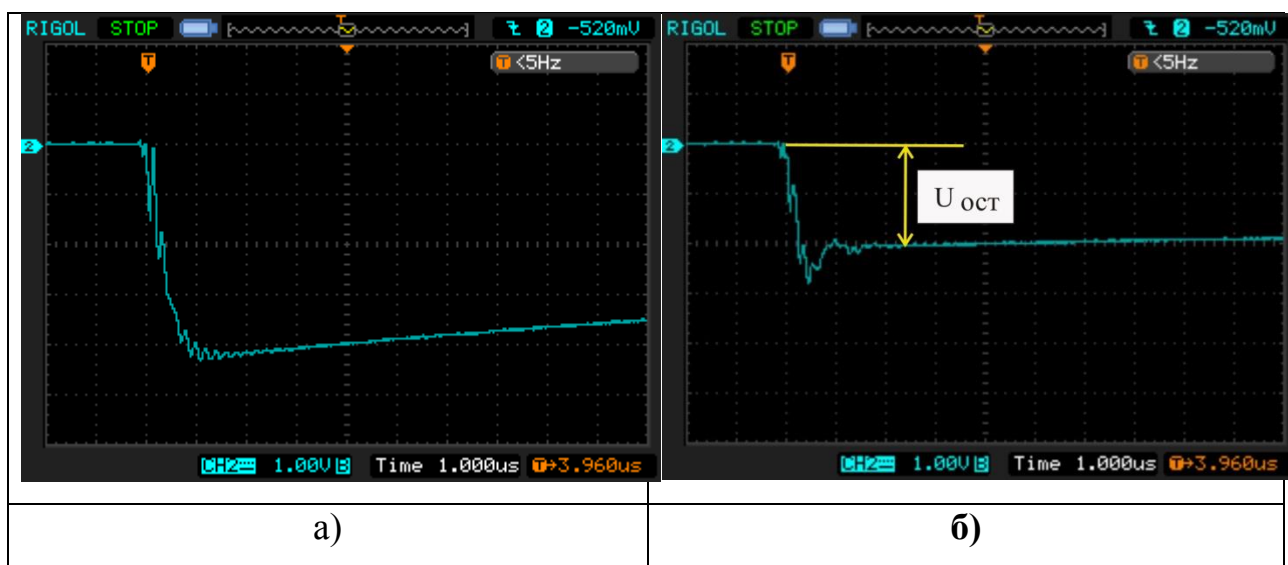


Рис. 9. Типичные осциллограммы выходного импульса напряжения ГИН с отключенным (а) и подключенным (б) ОПН

## Приложение

### П1. Разрядные напряжения шаровых разрядников

**Таблица П1.** Разрядные напряжения в киловольтах шаровых измерительных разрядников при заземлении одного из шаров для нормальных атмосферных условий - давление  $P_0=101.3$  кПа (1013 мбар или 760 мм.рт.ст.), температура окружающего воздуха 293К (20 °С) .

Расстояние между шарами, см	Диаметр шаров, см							
	6.25		12.5		25		50	
	а	б	а	б	а	б	а	б
0.6	20.2	20.2	19.9	19.9				
0.7	23.2	23.2	23.0	23.0				
0.8	26.2	26.2	26.0	26.0				
0.9	29.1	29.1	28.9	28.9				
1.0	31.9	31.9	31.7	31.7	31.7	31.7		
1.2	37.5	37.6	37.4	37.4	37.4	37.4		
1.4	42.9	43.2	42.9	42.9	42.9	42.9		
1.5	45.5	45.9	45.5	45.5	45.5	45.5		
1.6	48.1	48.6	48.1	48.1	48.1	48.1		
1.8	53.5	54.0	53.5	53.5	53.5	53.5		
2.0	58.5	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0
2.2	63.0	64.0	64.5	64.5	64.5	64.5	64.5	64.5
2.4	67.5	69.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0
2.6	72.0	73.5	75.5	75.5	75.5	75.5	75.5	75.5
2.8	76.0	78.0	80.0	80.5	81.0	81.0	81.0	81.0
3.0	79.5	82.0	85.0	85.5	86.0	86.0	86.0	86.0
3.5	(87.5)	(91.5)	97.0	98.0	99.0	99.0	99.0	99.0
4.0	(95.0)	(101)	108	110	112	112	112	112
4.5	(101)	(108)	119	122	125	125	125	125
5.0	(107)	(115)	129	134	137	138	138	138
5.5			138	145	149	151	151	151
6.0			146	155	161	163	164	164
6.5			(154)	(164)	173	175	177	177
7.0			(161)	(173)	184	187	189	189
7.5			(168)	(181)	195	199	202	202
8.0			(174)	(189)	206	211	214	214
9.0			(185)	(203)	226	233	239	239
10.0			(195)	(215)	244	254	263	263

**П р и м е ч а н и я:** а – для переменных синусоидальных напряжений, напряжений постоянного тока обеих полярностей, полных стандартных и более длинных импульсных напряжений отрицательной полярности; б – для полных стандартных и более длинных импульсных напряжений положительной полярности.

## П2. Приведение результатов измерений к нормальным атмосферным условиям

Если условия проведения электрических испытаний отличаются от нормальных климатических условий (см. п. 4.1.1), то должны применяться поправочные коэффициенты для того, чтобы получить приведенное к условиям испытания напряжение, которое прикладывается к изолятору при испытании выдерживаемым напряжением, или получить приведенное к нормальным климатическим условиям напряжение, при котором происходит перекрытие объекта в процессе проведения испытания выдерживаемым напряжением.

Напряжение, приведенное к соответствующим климатическим условиям, существующим при испытании  $U_r$ , в киловольтах вычисляют по формуле

$$U_r = U_0 * \frac{K_d}{K_h}, \quad (\text{П1})$$

где  $U_0$  - напряжение, соответствующее нормальным климатическим условиям, кВ;  $K_d$  - поправочный коэффициент на изменение плотности воздуха;  $K_h$  - поправочный коэффициент на изменение влажности воздуха.

При испытании изоляторов в сухом состоянии ( $K_d$ ) вычисляют из таблицы П2 Поправочный коэффициент на изменение влажности воздуха ( $K_h$ ) вычисляют по формуле:

$$K_h = K^w, \quad (\text{П2})$$

где  $K$  - коэффициент, зависящий от абсолютной влажности и вида напряжения, определяемый по рис. П1;  $w$  - показатель степени, зависящий от полярности приложенного импульсного напряжения, равный 1,0 для положительной полярности и 0,8 - для отрицательной полярности, при переменном напряжении показатель  $w$  равен 1,0.

Разрядные напряжения при атмосферных условиях, отличающихся от нормальных, указанных в **таблице П1**, могут быть получены путем

умножения значений напряжений на поправочный коэффициент  $K_d$ , который зависит от относительной плотности воздуха  $\rho$

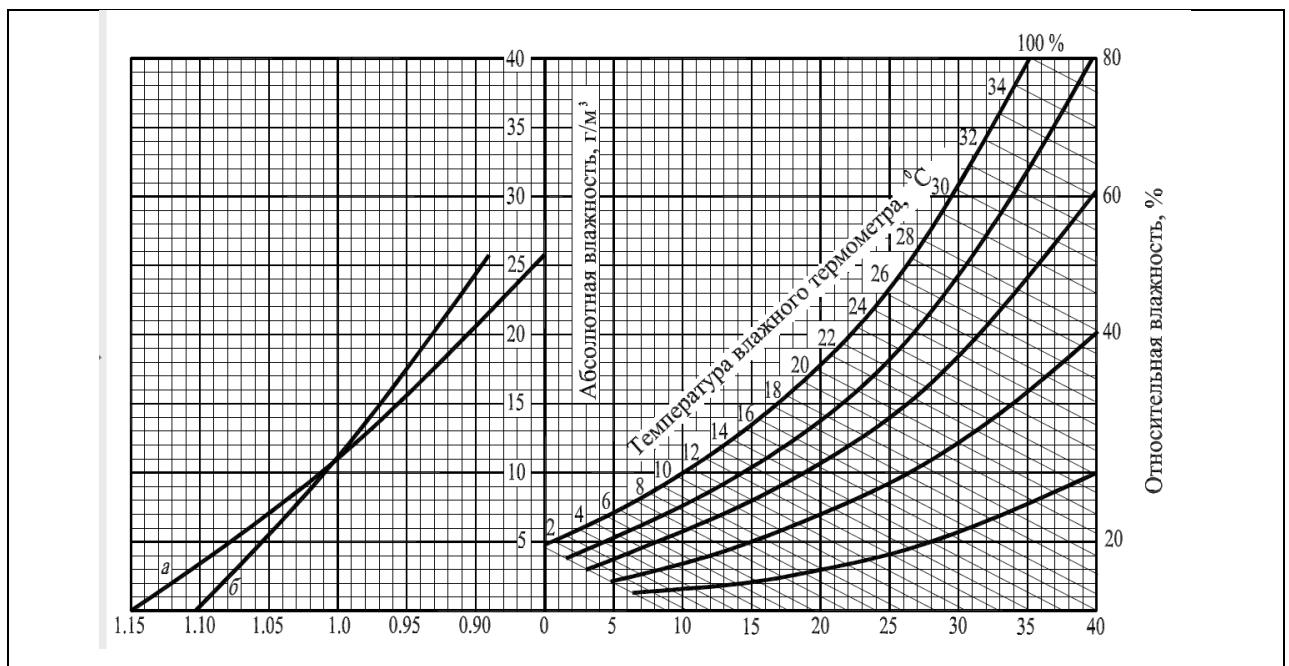
**Таблица П2.** К определению поправочного коэффициента на относительную плотность воздуха

относительная плотность воздуха, $\rho$	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1	1.05	1.1	1.15
поправочный коэффициент $K_d$	0.72	0.77	0.82	0.86	0.91	0.95	1.0	1.05	1.09	1.13

Относительная плотность воздуха может быть найдена по формуле

$$\rho = \frac{P}{101300} * \frac{273+20}{273+t} = 0.00289 \frac{P}{273+t} , \quad (\text{П3})$$

где  $P$  – атмосферное давление, Па;  $t$  – температура окружающего воздуха, °С



**Рис.П1.** К определению поправки на абсолютную влажность.

### ПЗ. Требования к испытаниям штырьевых изоляторов

**Таблица ПЗ.** Нормированная механическая разрушающая сила при изгибе и выдерживаемое импульсное электрическое напряжение изоляторов конкретного типа должны соответствовать значениям в соответствии с ГОСТ 1232-82

Класс	Нормированная механическая разрушающая сила при изгибе, кН, не менее	Выдерживаемое импульсное электрическое напряжение кВ, не менее	Изоляционное расстояние по воздуху от провода до штыря, мм, не менее
10	12,5	80	150
20	13,0	125	250
35	16,0	195	350

Рекомендации ГОСТ 1232-82 по подключению изоляторов для испытаний.

К шейке изолятора, перпендикулярно к заземленной траверсе, крепится цилиндрический провод диаметром не менее 5 мм, находящийся в горизонтальной плоскости и выступающий с каждой стороны от оси изолятора на длину, составляющую не менее двух высот изолятора. Провод крепят с помощью проволоки диаметром около 1 мм в следующей последовательности. Середину проволоки прикладывают к шейке изолятора. Оба конца закрепляют тремя витками на проводе с каждой стороны изолятора, затем концы проволоки перекидывают через шейку изолятора и закрепляют на проводе 10 витками. Если изолятор снабжен зажимным устройством, то провод вводится в это устройство.

## П4. Характеристики ОПН, используемых в Работе 5.

Таблица П4. Характеристики ОПН

	Параметр	ОПН-П-10	ОПН-П- 35
1.	Класс напряжения, кВ	10	35
2.	Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение, кВ <sub>действ</sub>	13,5	42
3.	-номинальное напряжение ОПН, кВ <sub>д</sub>	17,0	52,5
4.	Номинальный разрядный ток (амплитуда импульса тока 8/20 мкс), А	10000	10000
5.	Остающееся напряжение при импульсном токе 8/20 мкс с амплитудой:		
	<b>3000 А, кВ, не более</b>	35,4	109,2
	<b>5000 А, кВ, не более</b>	37,4	115,5
	<b>10000 А, кВ, не более</b>	41,1	126,9
	<b>20000 А, кВ, не более</b>	46,4	143,4
6.	Остающееся напряжение при импульсном токе 1/10 мкс с амплитудой: 10000 А, кВ, не более	43,6	134,6
7.	Удельная рассеиваемая энергия ограничителем одного импульса на 1 кВ по п. 2, кДж/кВ, не менее 2)	2,5	2,5