

---

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЕТЕВАЯ КОМПАНИЯ  
ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ»

---



**СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ  
ОАО «ФСК ЕЭС»**

**СТО 56947007-  
29.130.10.197-2015**

---

**Методические указания по применению ОПН на ВЛ 6 – 750 кВ**

Стандарт организации

Дата введения: 19.01.2015

ОАО «ФСК ЕЭС»  
2015

## Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», объекты стандартизации и общие положения при разработке и применении стандартов организаций Российской Федерации - ГОСТ Р 1.4-2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения», общие требования к построению, изложению, оформлению, содержанию и обозначению межгосударственных стандартов, правил и рекомендаций по межгосударственной стандартизации и изменений к ним - ГОСТ 1.5-2001, правила построения, изложения, оформления и обозначения национальных стандартов Российской Федерации, общие требования к их содержанию, а также правила оформления и изложения изменений к национальным стандартам Российской Федерации - ГОСТ Р 1.5-2004.

### Сведения о стандарте организации

1. РАЗРАБОТАН: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ».
2. ВНЕСЁН: Департаментом подстанций, Департаментом инновационного развития.
3. УТВЕРЖДЁН И ВВЕДЁН В ДЕЙСТВИЕ: Приказом ОАО «ФСК ЕЭС» от 19.01.2015 № 7.
4. ВВЕДЁН: ВПЕРВЫЕ.

Замечания и предложения по стандарту организации следует направлять в Департамент инновационного развития ОАО «ФСК ЕЭС» по адресу 117630, Москва, ул. Ак. Челомея, д. 5А, электронной почтой по адресу: [vaga-na@fsk-ees.ru](mailto:vaga-na@fsk-ees.ru).

Настоящий документ не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения ОАО «ФСК ЕЭС».

## Содержание

1 Область применения .....	4
2 Нормативные ссылки .....	4
3 Термины и определения.....	5
4 Обозначения и сокращения .....	6
5 Общие положения .....	6
6 Определение среднего числа отключений ВЛ по причине перекрытий.....	9
7 Определение среднего числа отключений ВЛ по причине повреждений защитных аппаратов .....	13
8 Определение требований к ЛО и ЛР.....	14
9 Пример выбора .....	15
Приложение А Справочные данные по удельным числам грозových отключений ВЛ 35–750 кВ.....	32
Приложение Б Справочные данные по интегральным распределениям вероятностей энергий в защитных аппаратах 35–750 кВ .....	96
Библиография.....	137

## **Введение**

«Методические указания по применению ОПН на ВЛ 6–750 кВ» (далее – Методические указания) предназначены для обоснования технических решений по применению защитных аппаратов при проектировании молниезащиты ВЛ.

В методических указаниях использованы требования и нормы, содержащиеся в нормативно-технических документах, действующих в электроэнергетике и ОАО «ФСК ЕЭС».

## **1 Область применения**

Настоящие Методические указания распространяются на линейные ограничители без искрового промежутка и линейные разрядники с искровым промежутком (далее – защитные аппараты), предназначенные для защиты от грозовых перенапряжений изоляции одноцепных и двухцепных воздушных линий электропередачи переменного тока частоты 50 Гц классов напряжения 6–750 кВ.

В методических указаниях рассматриваются технические решения по применению защитных аппаратов для обеспечения грозоупорности ВЛ 6–750 кВ как при наличии, так и при отсутствии тросовой защиты. В том числе, технические решения по выбору схем защиты, типа и характеристик аппаратов.

Для ВЛ 35–750 кВ методические указания позволяют осуществить выбор оптимального технического решения по применению защитных аппаратов (ЗА) без применения численного моделирования грозовых перенапряжений с помощью специального программного обеспечения (в Приложениях А и Б приведены необходимые справочные данные).

Для действующих и вновь строящихся ВЛ по фазным проводам которых организованы или планируется организовать высокочастотные каналы связи, применение линейных ограничителей без искровых промежутков возможно только при условии расчетного подтверждения обеспечения работы высокочастотного тракта по условиям затухания и искажения сигналов. Настоящие методические указания на решение этой задачи не распространяются. Применение линейных разрядников с искровыми промежутками не имеет ограничений по условию работы высокочастотных трактов

## **2 Нормативные ссылки**

ГОСТ 721–77 Системы электроснабжения, сети, источники, преобразователи и приемники электрической энергии. Номинальные напряжения свыше 1000 В (с Изменениями № 1 – 3).

ГОСТ Р 52725-07 Ограничители перенапряжений нелинейные для электроустановок переменного тока напряжением от 3 до 750 кВ. Общие технические условия.

ГОСТ Р 53735.5-09 (МЭК 60099-5:2000) Разрядники вентильные и ограничители перенапряжений нелинейные для электроустановок переменного тока на напряжение от 3 до 750 кВ. Часть 5. Рекомендации по выбору и применению.

### 3 Термины и определения

В настоящих Методических указаниях применяются следующие термины с соответствующими определениями.

3.1 **Линейный ограничитель (ЛО)** – аппарат, предназначенный для защиты изоляции ВЛ от грозовых перенапряжений, представляющий собой колонку, состоящую из последовательно соединенных варисторов, заключенных в изоляционный корпус, не содержащий искровых промежутков и снабженный отделителем.

3.2 **Линейный разрядник (ЛР)** – аппарат, предназначенный для защиты изоляции ВЛ от грозовых перенапряжений, состоящий из рабочего резистора с нелинейной вольтамперной характеристикой и искрового промежутка, соединенных последовательно.

3.3 **Рабочий резистор (РР)** – резистор, являющийся частью ЛР, скомплектованный из нелинейных металлоксидных сопротивлений (варисторов), помещенных в изоляционный корпус.

3.4 **Искровой промежуток (ИП)** – промежуток между двумя электродами, который соединяется последовательно с рабочим резистором и является частью ЛР.

3.5 **Номинальное напряжение ЛР  $U_{\text{н}}^{\text{ЛР}}$**  – напряжение гашения, т.е. максимально допустимое действующее значение напряжения промышленной частоты на выводах ЛР, при котором гарантируется отсутствие перехода импульсного перекрытия в силовую дугу после протекания разрядного тока через РР и ИП для заданной степени загрязнения атмосферы.

3.6 **Номинальное напряжение ЛО  $U_{\text{н}}^{\text{ЛО}}$**  – действующее значение напряжения промышленной частоты, которое ограничитель может выдерживать в течение 10 с в процессе рабочих испытаний.

3.7 **Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение ЛО  $U_{\text{нр}}$**  – наибольшее действующее значение напряжения промышленной частоты, которое может быть приложено непрерывно к ЛО в течение всего срока его службы и не приводит к повреждению или термической неустойчивости ЛО при нормированных воздействиях.

3.8 **Грозовой импульс тока синусоидальной формы** – импульс тока квазисинусоидальной формы, имеющий длительность от 200 до 230 мкс по уровню 5% от амплитудного значения и применяемый для испытаний ЛР на пропускную способность в соответствии с МЭК 60099-8 (18 приложений импульсного тока группами из 3-х импульсов с охлаждением ЛР после каждой группы).

3.9 **Пропускная способность ЛР** характеризуется двумя параметрами:

– минимальное из средних значений амплитуды грозового импульса тока синусоидальной формы в группе  $I_{\text{пр}}^{\text{ЛР}}$ , А;

– минимальное из средних значений заряда грозового импульса тока синусоидальной формы в группе  $Q_{\text{пр}}^{\text{ЛР}}$ , Кл.

**3.10 Пропускная способность ЛО**  $I_{\text{пр}}^{\text{ЛО}}$  – максимальное значение прямоугольного импульса тока длительностью 2000 мкс (ток пропускной способности).

**3.11 Удельная энергия ЛО**  $w_{\text{уд}}$  – рассеиваемая ограничителем энергия, полученная им при приложении одного импульса тока пропускной способности, отнесенная к значению наибольшего длительно допустимого рабочего напряжения ЛО, кДж/кВ.

**3.12 Защитная характеристика ЛР** – наименьшие значения разрядных напряжений из двух вольт-секундных характеристик искрового промежутка ЛР при напряжении стандартных грозовых импульсов (1,2/50 мкс) положительной и отрицательной полярностей при предразрядном времени от 1 до 10 мкс.

## 4 Обозначения и сокращения

АПВ	– автоматическое повторное включение;
ВЛ	– воздушная линия;
ВСХ	– вольт-секундная характеристика;
ЗА	– защитный аппарат;
ЗУ	– заземляющее устройство;
КЗ	– короткое замыкание;
МЭК	– международная электротехническая комиссия;
ОПН	– ограничитель перенапряжений нелинейный;
ПС	– подстанция;
$N_{\text{Г,доп}}$	– допустимое число отключений ВЛ, 1/год;
$N_{\text{Г}}$	– среднее число грозовых отключений ВЛ без ЗА, 1/год;
$N_{\text{Г,з}}$	– среднее число грозовых отключений ВЛ с установленными ЗА, 1/год;
$N_{\text{Г,з}}^{\text{пер}}$	– среднее число грозовых отключений ВЛ с установленными ЗА по причине импульсных перекрытий незащищенных гирлянд изоляторов, 1/год;
$N_{\text{Г,з}}^{\text{повр}}$	– среднее число грозовых отключений ВЛ с установленными ЗА по причине повреждений ЗА, 1/год;
$l_{\text{разр}}$	– длина разрядного пути по гирлянде изоляторов, м.

## 5 Общие положения

5.1 Целью применения защитных аппаратов (ЛО и ЛР) на ВЛ является обеспечение требуемой надежности работы электрических систем в условиях грозовых перенапряжений. Основной задачей является обеспечение среднего

числа грозовых отключений ВЛ, не превышающего допустимого значения. Допустимое среднее число грозовых отключений ВЛ  $N_{г, доп}$  определяется требованиями ОАО «ФСК ЕЭС» и зависит от допустимого числа перерывов электропитания, успешности АПВ, ресурса выключателей, доли грозовых отключений в общем числе автоматических отключений коротких замыканий, межремонтного периода выключателей, длины ВЛ, тока КЗ.

5.2 Необходимость применения защитных аппаратов на ВЛ устанавливается для вновь строящихся и реконструируемых ВЛ на основании расчета среднего числа грозовых отключений и опыта эксплуатации, в случае, если традиционные мероприятия по обеспечению грозоупорности (организация ЗУ опор, подвеска молниезащитных тросов, увеличение импульсной прочности гирлянд изоляторов, АПВ) недостаточны, либо одно или несколько традиционных мероприятий оказываются нереализуемыми. Характерными случаями применения защитных аппаратов являются участки ВЛ:

- проходящие в районах с высокими удельными сопротивлениями грунтов (скалистый грунт, вечная мерзлота);
- с повышенной грозовой активностью;
- с высокими гололедно-ветровыми нагрузками.

5.3 Расчет среднего числа грозовых отключений ВЛ без защитных аппаратов проводится по справочным данным, приведенным в настоящем стандарте. Справочные данные сформированы на основании методики расчета грозопоражаемости ВЛ в соответствии с РД 153-34.3-35.125, составленной для типового случая прохождения трассы ВЛ по равнинной местности в отсутствие экранирующего действия расположенных вблизи трассы объектов (например, деревьев).

Для нетиповых случаев прохождения трассы ВЛ (горная местность, наличие деревьев и т.п.) необходимо применение современных методов оценки характеристик грозопоражаемости ВЛ, реализованных в специализированных программах. При расчете грозопоражаемости с помощью одной из таких программ справочные данные настоящего стандарта необходимо скорректировать (п. 6.1).

5.4 Определение наиболее эффективного варианта применения защитных аппаратов на ВЛ осуществляется путем сопоставления нескольких вариантов. Критерием достаточной технической эффективности варианта является расчетное значение среднего числа грозовых отключений ВЛ, которое не должно превышать допустимого значения (п. 5.1).

Защитные аппараты, установленные на линии, могут подвергаться недопустимым энергетическим воздействиям тока молнии. Принимается, что повреждение защитного аппарата приводит к грозовому отключению. По этой причине расчетное среднее число грозовых отключений ВЛ с защитными аппаратами состоит из двух слагаемых:

- среднего числа грозовых отключений по причине импульсных перекрытий незащищенных гирлянд изоляторов ( $N_{г,з}^{пер}$ );

– среднего числа грозových отключений по причине повреждений защитных аппаратов ( $N_{Г,З}^{повр}$ ).

Под вариантом защиты в настоящем стандарте понимается совокупность схемы расстановки защитных аппаратов, их типа, номинального напряжения и параметров, характеризующих пропускную способность.

Определение наиболее эффективного варианта защиты осуществляется в соответствии с приведенной ниже последовательностью.

5.4.1 Выбор схем расстановки защитных аппаратов на ВЛ. Тип защитного аппарата (ЛЮ или ЛР) на этом этапе не имеет значения, так как средние числа грозových отключений практически одинаковы как в случае применения ЛЮ, так и ЛР. Выбор схем расстановки следует производить из перечня рекомендуемых схем с частичной защитой гирлянд изоляторов, приведенного в п. 6.2 настоящего стандарта<sup>1</sup>. При необходимости полного исключения перекрытий гирлянд изоляторов следует выбирать схему полной защиты с установкой защитных аппаратов на всех фазах каждой опоры.

Для каждой схемы расстановки  $N_{Г,З}^{пер}$  определяется по справочным кривым Приложения А и указаний раздела 6 настоящего стандарта. Далее рассматриваются только те схемы расстановки, для которых выполняется условие  $N_{Г,З}^{пер} < N_{Г,доп}$ . Для схемы с полной защитой принимается  $N_{Г,З}^{пер} = 0$ .

5.4.2 Выбор типа защитного аппарата (ЗА). Задачу снижения числа грозových отключений ВЛ можно полностью решить применением аппаратов обоих типов. Однако, в зависимости от условий (класса напряжения ВЛ, типа опор, сопротивлений ЗУ опор, условий прохождения трассы ВЛ) ЛЮ и ЛР при заданной схеме расстановки имеют разную эффективность. Следует рассмотреть возможность применения аппаратов обоих типов, а выбор конкретного решения осуществлять на основании технико-экономических соображений, учитывая технический эффект снижения числа грозových отключений, экономический ущерб от грозových отключений и стоимость схемы защиты с ЛЮ или ЛР.

При рассмотрении схемы защиты ВЛ с использованием аппаратов типа ЛЮ необходимо выполнить для ВЧ каналов на данной ВЛ расчетное подтверждение обеспечения работы по условиям затухания и искажения сигналов в диапазоне 16–1000 кГц.

5.4.3 В соответствии с указаниями раздела 7 определяются номинальное напряжение и параметры, характеризующие пропускную способность ЗА, после чего с помощью справочных кривых Приложения Б определяется  $N_{Г,З}^{повр}$ .

Общее число грозových отключений ВЛ с защитными аппаратами  $N_{Г,З} = N_{Г,З}^{пер} + N_{Г,З}^{повр}$ .

Наиболее эффективным вариантом защиты принимается тот, для которого условие  $N_{Г,З} \leq N_{Г,доп}$  выполняется при наименьших затратах, которые тем меньше,

---

<sup>1</sup> Примечание. Схемы с одним ЗА на опору при наличии тросовой защиты малоэффективны, поэтому в Приложении Б для этих схем справочные данные по вероятностям энергетических воздействий отсутствуют.

чем меньше количество защитных аппаратов на ВЛ, их пропускная способность и номинальные напряжения.

5.5 Исходными данными для выбора ЗА являются:

- среднее число грозовых часов в году вдоль трассы ВЛ  $D_{г}$ , 1/год;
- типы и параметры промежуточных опор вдоль трассы ВЛ;
- распределение значений сопротивлений ЗУ опор вдоль трассы ВЛ;
- параметры тросовой защиты вдоль трассы ВЛ (число тросов, защитные углы);
- строительные высоты изолирующих подвесок;
- значения длин пролетов вдоль трассы ВЛ;
- степень загрязнения;
- уровень квазистационарных перенапряжений и их возможная длительность (только для ЛО);
- наибольший возможный ток КЗ (однофазного или трехфазного) на линии на участках установки ЗА.

5.6 В качестве технических требований к ЛО настоящий стандарт распространяет требования ГОСТ Р 52725. Технические требования к ЛР на момент составления настоящего Стандарта в России не регламентированы. Производители ЛР должны подтверждать соответствие технических характеристик ЛР требованиям Стандарта МЭК 60099-8.

5.7 Ограничения на применимость справочных Приложений.

5.7.1 Приложения А и Б применимы при следующих условиях:

- доля анкерных опор вдоль участка ВЛ с тросовой защитой не превышает 30% от общего числа опор для ВЛ 35–220 кВ, 20 % – для ВЛ 330–750 кВ;
- отклонение расчетного значения средней длины пролета вдоль участка ВЛ от значений, указанных в Приложении А, не превышает 35 %.

5.7.2 Приложение Б применимо только для случаев применения на опоре ЗА одного типа (только ЛР или только ЛО) одинаковой пропускной способности.

## **6 Определение среднего числа грозовых отключений ВЛ по причине перекрытий линейной изоляции**

6.1 Расчет среднего числа грозовых отключений на ВЛ без защитных аппаратов.

Среднее число грозовых отключений ВЛ без защитных аппаратов определяется по следующей формуле:

$$N_{г} = \sum_{i=1}^{N_{оп}} n_{г,i} k_i \frac{0,5(\Delta l_{i,л} + \Delta l_{i,п})}{100} \frac{D_{г,i}}{100} [1/\text{год}], \quad (6.1)$$

где  $N_{оп}$  – число опор ВЛ;  $\Delta l_{i,л}$ ,  $\Delta l_{i,п}$  – длины пролетов слева и справа от  $i$ -ой опоры [км];  $D_{г,i}$  – число грозовых часов в году для участка трассы  $i$ -ой опоры [1/год];  $n_{г,i}$  – удельное число грозовых отключений ВЛ по причине перекрытия гирлянд изоляторов на  $i$ -ой опоре [1/(100 км·100 гр.ч)];  $k_i$  – коэффициент корректировки грозопоражаемости.

Для корректного применения формулы (6.1) следует принимать  $\Delta I_{1,л} = \Delta I_{N_{оп,п}} = 0$ .

Удельное число  $n_{г,i}$  определяется по справочным кривым Приложения А в соответствии с расчетным значением сопротивления ЗУ  $i$ -ой опоры и длины разрядного пути по гирляндам изоляторов. Для двухцепных опор числа одноцепных и двухцепных отключений по причине перекрытий рассчитываются отдельно. Для расчета среднего числа одноцепных отключений в формулу (6.1) следует подставлять значения  $n_{г}^{(1)}$  из таблиц Приложения А, для двухцепных отключений – значения  $n_{г}^{(2)}$ . Цепи ВЛ при этом предполагаются симметричными за исключением схемы расстановки ЗА с полной защитой фаз одной цепи.

В случае отсутствия в Приложении А справочных кривых для конкретного типа опоры рассматриваемой ВЛ, следует использовать кривую для наиболее точно соответствующей опоры (по группе и высоте). При несовпадении длины гирлянды изоляторов можно использовать линейную интерполяцию или экстраполяцию данных со справочных кривых.

Принимается, что корректирующий коэффициент  $k_i = 1$  для всех случаев, кроме:

- а) экранирования участка трассы ВЛ расположенными рядом объектами;
- б) несоответствия высот опор рассматриваемого участка ВЛ и высоты опоры из справочных данных;
- в) определения характеристик грозопоражаемости с помощью специализированного программного обеспечения (п. 5.3).

Корректирующий коэффициент  $k_i$  рассчитывается по следующей формуле

$$k_i = \frac{N'}{N}, \quad (6.2)$$

где  $N$  – расчетное удельное число ударов молнии в участок ВЛ на 100 км за 100 грозовых часов из справочных данных Приложения А;  $N'$  – скорректированное число ударов.

Для случая б значение  $N'$  можно определить по формулам, приведенным в разделе 6.4 РД 153–34.3–35.125.

Рекомендуемые схемы расстановки защитных аппаратов на ВЛ, в зависимости от соответствия промежуточных опор группе<sup>2</sup>, наличия тросовой защиты и числа ЗА на опору приведены в Таблице 6.1. Для каждого из указанных в Таблице 6.1 вариантов схем расстановки ЗА на ВЛ в Приложении А приведены расчетные удельные числа грозовых отключений.

6.2 Эффективность схем расстановки ЗА (по снижению числа грозовых отключений ВЛ) определяется в первую очередь числом ЗА на опору. При этом

---

<sup>2</sup> Примечание. В справочных данных типы опор разбиты на три группы по характеру взаимного расположения проводов и количества цепей:

- 1) одноцепные одностоечные опоры с треугольным расположением проводов;
- 2) одноцепные порталные с горизонтальным расположением проводов;
- 3) двухцепные одностоечные с вертикальным расположением проводов.

Каждой группе опор соответствует набор рекомендуемых схем расстановки ЗА, эффективность которых определяется главным образом числом ЗА на опору.

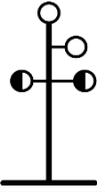
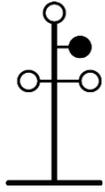
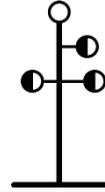
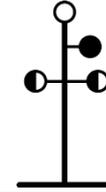
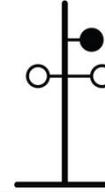
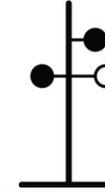
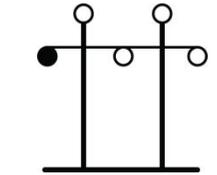
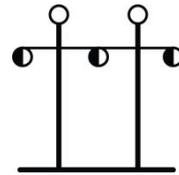
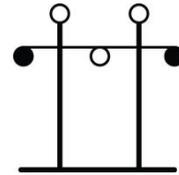
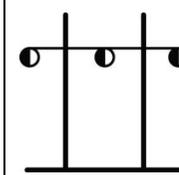
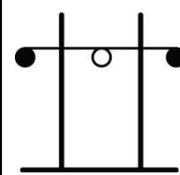
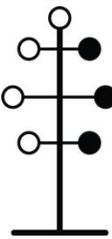
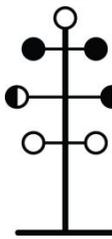
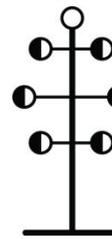
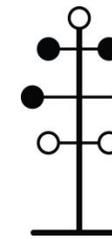
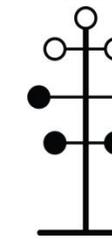
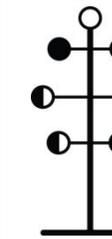
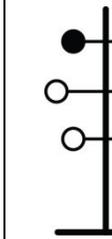
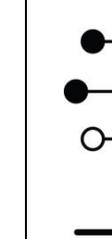
схемы с одинаковым числом ЗА на опору имеют различную эффективность в разных диапазонах сопротивлений ЗУ опор.

Если вдоль трассы ВЛ имеются участки с высокими значениями сопротивления ЗУ опор (более 50 Ом), то в пределах этих участков целесообразно рассмотреть возможность применения отдельной схемы расстановки ЗА (или применять ЗА только на таких участках).

Расчет среднего числа грозовых отключений ВЛ по причине перекрытий гирлянд изоляторов  $N_{г,з}^{пер}$  проводится в соответствии положениями п. 5.4 по формуле (6.1), в которую вместо  $n_{г,i}$  подставляется значение из справочных кривых Приложения А для соответствующих схем из Таблицы 6.1.

Пример определения  $N_{г,з}^{пер}$  приведен в разделе 9.

Таблица 6.1 Рекомендуемые схемы расстановки на трассе ВЛ

Группа опор		С молниезащитным тросом					Без молниезащитного троса		
Одноцепная одностоечная с треугольным расположением проводов	Вариант	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	<i>е</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	
	Число ЗА на опору	1		1,5	2		1	2	
	Схема расстановки ЗА								
Одноцепная портальная с горизонтальным расположением проводов	Вариант	<i>б</i>		<i>в</i>		<i>г</i>		<i>б</i>	<i>в</i>
	Число ЗА на опору	1		1,5		2		1,5	2
	Схема расстановки ЗА								
Двухцепная одностоечная с вертикальным расположением проводов	Вариант	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	<i>е</i>	<i>ж</i>	<i>б</i>	<i>в</i>
	Число ЗА на опору	3			4			2	4
	Схема расстановки ЗА								
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору									

## 7 Определение среднего числа отключений ВЛ по причине поврежденных защитных аппаратов

7.1 Перед определением среднего числа грозовых отключений ВЛ по причине повреждений защитных аппаратов следует выбрать номинальное напряжение ЗА. Для ЛР должно выполняться условие  $U_{\text{н}}^{\text{ЛР}} \geq 1,02U_{\text{нр}}^{\text{сети}}$ , где  $U_{\text{нр}}^{\text{сети}}$  – наибольшее рабочее фазное напряжение для сетей 110–750 кВ, а для сетей 35 кВ с неэффективно заземленной нейтралью – наибольшее рабочее линейное напряжение. Для ЛО следует выбирать  $U_{\text{н}}^{\text{ЛО}}$  таким, чтобы обеспечить надежную работу аппарата в условиях квазистационарных перенапряжений в соответствии с методическими указаниями по применению ОПН [5, 6].

7.2 Из номенклатуры предлагаемых аппаратов следует выбирать ЗА с минимальным значением номинального напряжения ЗА, при условии соблюдения требований п. 7.1.

7.3 При выборе ЗА из нескольких возможных вариантов, сначала нужно отдать предпочтение аппаратам с минимальной пропускной способностью  $I_{\text{пр}}^{\text{ЛО}}$  (или с наименьшей  $w_{\text{уд}}$ ) – для ЛО, и с наименьшим зарядом импульса тока пропускной способности  $Q_{\text{пр}}^{\text{ЛР}}$  – для ЛР.

7.4 Допустимая энергия  $W_{\text{доп}}$  определяется в зависимости от типа ЗА.

Для ЛО:

$$W_{\text{доп}} = 2w_{\text{уд}}U_{\text{нр}} \text{ [кДж]}, \quad (7.1)$$

где  $U_{\text{нр}}$  – наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение ЛО [кВ].

Для ЛР:

$$W_{\text{доп}} = 2U_{\text{ост}}(I_{\text{пр}}^{\text{ЛР}})Q_{\text{пр}}^{\text{ЛР}} \text{ [кДж]}, \quad (7.2)$$

где  $U_{\text{ост}}(I_{\text{пр}}^{\text{ЛР}})$  – остающееся напряжение на резисторе ЛР при токе  $I_{\text{пр}}^{\text{ЛР}}$  [кВ]. Все входящие в формулу (7.2) величины должны предоставляться производителем ЛР.

7.5 Среднее число грозовых отключений ВЛ по причине повреждений защитных аппаратов определяется по следующей формуле:

$$N_{\text{Г,З}}^{\text{повр}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{оп,ЗА}}} n_{\text{Г,З,}i}^{\text{повр}} \frac{0,5(\Delta l_{i,\text{л}} + \Delta l_{i,\text{п}})}{100} \frac{D_{\text{Г,}i}}{100} \text{ [1/год]}, \quad (7.3)$$

где  $N_{\text{оп,ЗА}}$  – число опор с установленными ЗА;  $\Delta l_{i,\text{л}}$ ,  $\Delta l_{i,\text{п}}$  – длины пролетов слева и справа от  $i$ -ой опоры [км];  $D_{\text{Г,}i}$  – число грозовых часов в году для участка трассы  $i$ -ой опоры [1/год];  $n_{\text{Г,З,}i}^{\text{повр}}$  – удельное число грозовых отключений ВЛ по причине повреждений ЗА на  $i$ -ой опоре [1/(100 км·100 гр.ч)]. Под  $N_{\text{оп,ЗА}}$  подразумевается общее число опор с ЗА, независимо от схемы расстановки аппаратов.

Значение  $n_{\text{Г,З,}i}^{\text{повр}}$  определяется на основании распределений вероятностей превышения энергий, поглощаемых ЗА, которые приведены в Приложении Б для четырех значений сопротивлений ЗУ опор  $R_{\text{оп}} = 10, 50, 100$  и  $200$  Ом. Эти зависимости представлены графически и аппроксимируемыми формулами вида:

$$P_W(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}, \quad (7.4)$$

где  $A_1$ ,  $T_1$ ,  $A_2$ ,  $T_2$  – коэффициенты аппроксимации, которые сведены в таблицы для всех схем расстановки ЗА из Приложения Б.

Для определения  $n_{Г,3,i}^{\text{повр}}$  необходимо построить вспомогательную зависимость  $n_{Г,3}^{\text{повр}}(R_{\text{оп}})$  и определить значение  $n_{Г,3,i}^{\text{повр}}$  для конкретного значения  $R_{\text{оп}}$  с помощью интерполяции или экстраполяции. При построении этой зависимости следует определять как

$$n_{Г,3,i}^{\text{повр}}(R_{\text{оп}}) = N k_i P_W(W_{\text{доп}}) [1/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч})], \quad (7.5)$$

где  $N$  – расчетное удельное число ударов молнии в участок ВЛ [1/(100 км·100 гр.ч)];  $k_i$  – коэффициент корректировки грозопоражаемости (п. 6.1);  $P_W(W_{\text{доп}})$  – расчетная вероятность повреждения ЗА, определенная по формуле (7.4) с коэффициентами, соответствующими сопротивлению  $R_{\text{оп}}$ ,  $W_{\text{доп}}$  – допустимая энергия, поглощаемая ЗА при ограничении грозových перенапряжений на ВЛ (п. 7.4) [кДж].

7.6 В случае получения неприемлемого значения  $N_{Г,3}^{\text{повр}}$  следует рассмотреть ЗА с большим значением номинального напряжения. Если  $N_{Г,3}^{\text{повр}}$  остается недопустимо высоким, то следует рассмотреть ЗА с более высокой пропускной способностью. Верхний предел возможных значений номинального напряжения ограничен по условию координации защитного уровня ЗА с вольт-секундной характеристикой защищаемой изоляции (раздел 8).

## 8 Определение требований к ЛО и ЛР

### 8.1 Проверка защитных характеристик

8.1.1 Защитная характеристика ЛР должна быть скоординирована с вольт-секундной характеристикой гирлянд изоляторов ВЛ таким образом, чтобы при воздействии грозových перенапряжений происходило опережающее срабатывание ИП по отношению к перекрытию линейной изоляции. Интервал координации должен составлять не менее 20 %. Защитная характеристика ЛР предоставляется производителем. В случае отсутствия данных по вольт-секундной характеристике гирлянд изоляторов она определяется по формуле

$$u_{\text{ВСХ}}(t) = l_{\text{разр}} \left( 400 + \frac{710}{t^{0,75}} \right), \quad (8.1)$$

где  $t$  – предразрядное время (от 1 до 10 мкс),  $u_{\text{ВСХ}}$  – разрядное напряжение [кВ].

8.1.2 Защитная функция ЛО проверяется по выполнению следующего условия:

$$1,5U_{\text{ост},10} \leq U_{50}, \quad (8.2)$$

где  $U_{\text{ост},10}$  – остающееся напряжение ЛО при грозовом импульсе тока 10 кА (8/20 мкс);  $U_{50}$  – наименьшее из значений 50 %-го разрядного напряжения гирлянды изоляторов при воздействии стандартных грозových импульсов (1,2/50 мкс) положительной и отрицательной полярностей.

## 8.2 Проверка по току взрывобезопасности.

Значение тока взрывобезопасности ЗА должно быть больше расчетного значения наибольшего из токов короткого замыкания в месте установки ЗА.

## 8.3 Проверка работы в условиях загрязнения.

8.3.1 Для 50 %-го разрядного напряжения покрышки ЛО в условиях загрязнения и увлажнения  $U_{50\%,з.у.}^{ЛО}$  должно выполняться следующее условие:

$$U_{50\%,з.у.}^{ЛО} \geq U_{50\%,з.у.}^{норм} \quad (8.3)$$

где  $U_{50\%,з.у.}^{норм}$  – нормированное 50 %-е разрядное переменное напряжение гирлянд изоляторов или стержневых изоляторов в условиях загрязнения и увлажнения по СТО 56947007-29.240.069-2011 (Таблица В.2 обязательного Приложения В).

Значения  $U_{50\%,з.у.}^{ЛО}$  и  $U_{50\%,з.у.}^{норм}$  должны соответствовать заданной степени загрязнения.

8.3.2 Способность ЛР к надежной работе в условиях, соответствующих заданной степени загрязнения, должна подтверждаться производителем соответствующими испытаниями<sup>3</sup> и находит свое отражение в значении номинального напряжения ЛР.

## 9 Пример выбора

### 9.1 Постановка задачи для технического решения

В данном примере рассматривается техническое решение по повышению эффективности молниезащиты одноцепной ВЛ 110 кВ с применением ЗА. Рассматриваемая ВЛ имеет два проблемных участка в плане числа грозových отключений. На одном участке ВЛ отсутствует молниезащитный трос по причине высоких гололедно-ветровых нагрузок. На другом участке ВЛ имеет молниезащитный трос, но при этом грунт вдоль трассы прохождения ВЛ имеет высокое удельное электрическое сопротивление, что обуславливает высокие сопротивления ЗУ опор. Высокочастотные каналы связи на ВЛ не организованы.

Основной задачей в примере является разработка технического решения по применению ЗА на ВЛ, обеспечивающего уменьшение числа грозových отключений одноцепной ВЛ 110 кВ до значения, не превышающего двух отключений в год ( $N_{г,доп} = 2$  откл/год). Разработка технического решения по применению ЗА на ВЛ сводится к выбору оптимальных вариантов защиты линейной изоляции и требуемых параметров ЗА.

### 9.2 Исходные данные

Трасса ВЛ проходит по равнинной местности, удельное электрическое сопротивление грунта вдоль трассы изменяется в широком диапазоне. Участ-

---

<sup>3</sup> Примечание В соответствии с МЭК 60099-8 производитель подтверждает способность аппарата к гашению сопровождающего тока моделированием в условиях испытаний тока утечки, соответствующего заявленной степени загрязнения

ки ВЛ характеризуются различными гололедно-ветровыми нагрузками. Количественные характеристики трассы прохождения ВЛ приведены в Таблице 9.1. Число грозových часов в году вдоль всей трассы прохождения ВЛ составляет  $D_{г} = 50$  гр.ч.

Таблица 9.1 Характеристики участков трассы прохождения ВЛ

Номер участка	Длина участка, км	Район по гололедно-ветровым нагрузкам	Число грозových часов
1	15	IV	50
2	10	II	50
3	15	II	50

Основные параметры одноцепной ВЛ 110 кВ приведены в Таблице 9.2. Характеристики молниезащиты участков трассы приведены в Таблице 9.3. На рисунке 9.1 приведены значения сопротивлений ЗУ опор вдоль трассы ВЛ.

Таблица 9.2 Основные параметры одноцепной ВЛ 110 кВ

1	Класс напряжения, кВ	110
2	Степень загрязнения	II
3	Количество цепей	1
4	Длина ВЛ, км	40
5	Средняя длина пролета, м	250
6	Марка провода	АС-240/32
7	Марка молниезащитного троса	АС-70/72
8	Количество опор	160
9	Тип промежуточных опор	П110-5В
10	Разрядная длина гирлянд изоляторов, м	1,02

Таблица 9.3 Особенности молниезащиты вдоль трассы ВЛ

Номер участка	Длина участка, км	Наличие молниезащитного троса	Сопротивления ЗУ опор ВЛ, Ом
1	15	–	5 ÷ 20
2	10	+	5 ÷ 20
3	15	+	40 ÷ 100

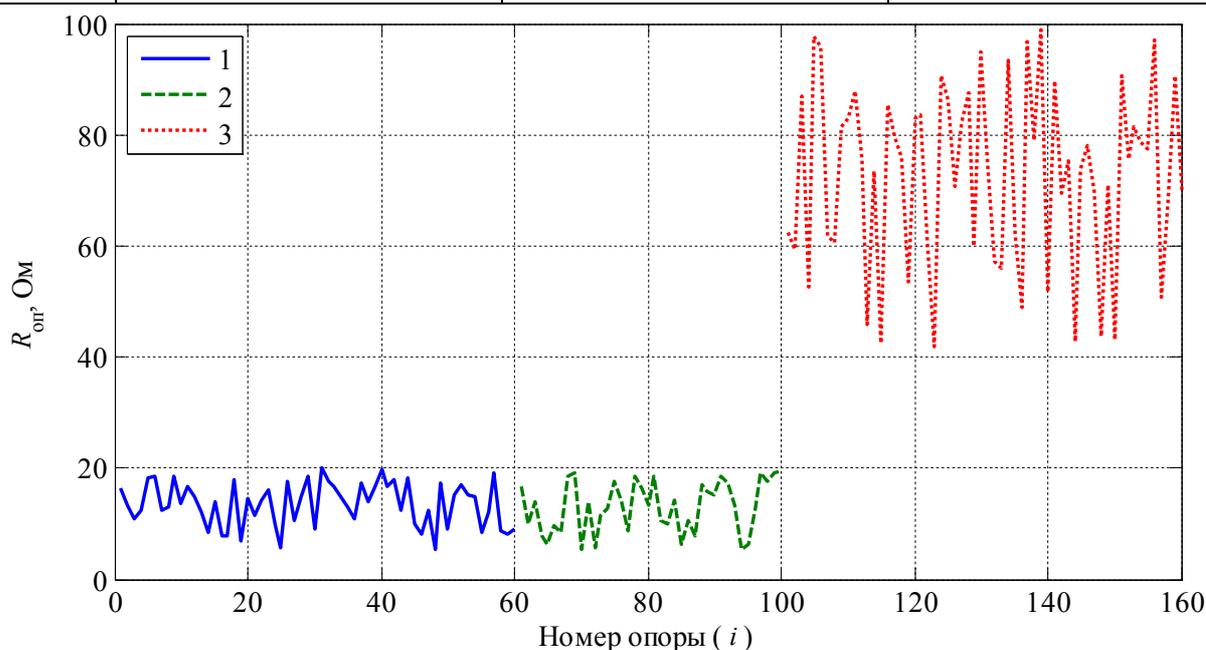


Рисунок 9.1 Сопротивления ЗУ опор вдоль трассы ВЛ 110 кВ

1 – участок ВЛ с малым удельным сопротивлением грунта и высокими гололедно-ветровыми нагрузками; 2 – участок ВЛ с малым удельным сопротивлением грунта и умеренными гололедно-ветровыми нагрузками; 3 – участок ВЛ с большим удельным сопротивлением грунта и умеренными гололедно-ветровыми нагрузками

### 9.3 Оценка среднего числа отключений ВЛ без ЗА

Расчет среднего числа грозовых отключений ВЛ без ЗА проведем в соответствии с положениями п. 6.1.

Справочные данные для опоры П110-5В содержатся в Приложении А на рисунке А.1 и в Таблице А.1. Для каждой опоры в соответствии с ее сопротив-

лением ЗУ путем интерполяции данных Таблицы А.1 определяем удельное число грозных отключений  $n_{г,i}$  для  $l_{разр} = 1,02$  м. Принимая в соответствии с исходными данными  $\Delta l_i = 250$  м,  $D_г = 50$  гр.ч, и полагая  $k_i = 1$  (так как корректировка грозопоражаемости не требуется), рассчитываем слагаемые суммы (6.1), которые представляют собой расчетные вклады  $i$ -й опоры в общее число грозных отключений ВЛ  $N_г$ . Их распределение представлено на рисунке 9.2.

Определяем  $N_г$ , соответствующие трем участкам ВЛ и сводим их в Таблицу 9.4. Видно, что основной вклад в общее число отключений вносят участки 1 (3,67 отключений в год) и 3 (2,55 отключений в год). Это обусловлено отсутствием молниезащитного троса на участке 1 и высокими сопротивлениями ЗУ опор на участке 3. Участок 2 (0,39 отключений в год) характеризуется приемлемой грозоупорностью.

Общее расчетное среднее число грозных отключений  $N_г = 6,61$  откл./год, что значительно больше допустимого значения  $N_{г,доп} = 2$  откл./год.

Принимаем решение об установке ЗА на участках 1 и 3.

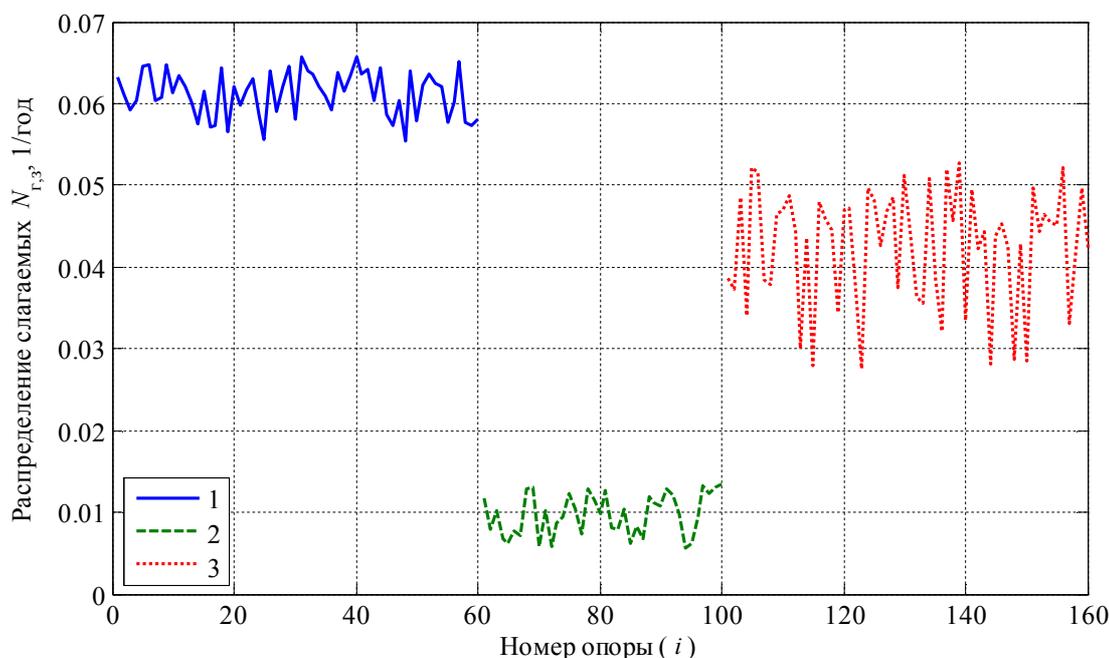


Рисунок 9.2 Числа грозовых отключений вдоль трассы ВЛ без ЗА

1 – участок ВЛ с малым удельным сопротивлением грунта и высокими гололедно-ветровыми нагрузками; 2 – участок ВЛ с малым удельным сопротивлением грунта и умеренными гололедно-ветровыми нагрузками; 3 – участок ВЛ с большим удельным сопротивлением грунта и умеренными гололедно-ветровыми нагрузками

Таблица 9.4 Числа грозовых отключений одноцепной ВЛ 110 кВ

Номер участка	Число грозовых отключений ВЛ, откл/год
1	3,67
2	0,39
3	2,55
все участки	$n_{Г} = 6,61$

## 9.4 Выбор схем расстановки ЗА на ВЛ

Выбор вариантов схем расстановки ЗА осуществляем в соответствии с положениями пп. 5.4 и 6.2 и рекомендуемых схем расстановки ЗА (Таблица 6.1).

Для участка 1, характеризующегося отсутствием тросовой защиты, принимаем схему б (с одним ЗА на опору в верхней фазе) для группы опор «одноцепные одностоечные с треугольным расположением проводов» и при отсутствии молниезащитного троса.

Для участка 3, характеризующегося высокими значениями сопротивлений ЗУ опор, рассматриваем 3 варианта: схемы б, г и д (Таблица 6.1). Выбор этих схем расстановки обусловлен их высокой эффективностью при больших сопротивлениях  $R_{оп}$ , что следует из графиков рисунка А.2. Для выбранных вариантов схема б наименее эффективна, но наиболее экономична, так как используется

только один ЗА на опору. Схема  $\delta$ , напротив, наиболее эффективна, но наименее экономична.

### 9.5 Оценка среднего числа отключений ВЛ с ЗА по причине импульсных перекрытий

Расчет среднего числа  $N_{г,з}^{пер}$  для каждого из участков выполняем в соответствии с положениями п. 6.3.

Для каждой опоры участка 3 в соответствии с ее сопротивлением ЗУ путем интерполяции справочных данных Таблицы А.2 определяем удельное число грозových отключений  $n_{г,з,i}^{пер}$  для  $l_{разр} = 1,02$  м. Для участка 1 пользуемся данными Таблицы А.3. Аналогично п. 9.3 принимаем  $\Delta l_i = 250$  м,  $D_r = 50$  гр.ч и  $k_i = 1$ , и рассчитываем слагаемые суммы (6.1), которые представляют собой расчетные вклады  $i$ -й опоры в общее число грозových отключений ВЛ  $N_{г,з}^{пер}$ . Их распределения для вариантов схем расстановки представлены на рисунках 9.3–9.5. В Таблицах 9.5–9.7 приведены схемы расстановки ЗА и соответствующие им числа отключений ВЛ по причине перекрытий линейной изоляции на участках трассы.

#### *Результаты для варианта №1*

Из Таблиц 9.4 и 9.5 следует, что установка ЗА на участке 1 позволяет сократить число грозových отключений с 3,67 до 0,58 откл./год, а на участке 3 – с 2,55 до 1,72 откл./год. Общее число грозových отключений одноцепной ВЛ 110 кВ по причине перекрытий  $N_{г,з}^{пер}$  уменьшается с 6,61 до 2,69 откл./год, но превышает требуемое значение  $N_{г,доп} = 2$  откл./год. Вариант №1 следует признать неэффективным.

#### *Результаты для варианта № 2*

Результаты расчетов отличаются от варианта № 1 только на участке 3, для которого из Таблиц 9.4 и 9.6 следует, что установка ЗА позволила сократить число грозových отключений с 2,55 до 1,11 откл./год. Общее число грозových отключений одноцепной ВЛ 110 кВ по причине перекрытий  $N_{г,з}^{пер}$  уменьшается с 6,61 до 2,08 откл./год, что превышает требуемое значение  $N_{г,доп} = 2$  откл./год. Вариант № 2 следует признать неэффективным.

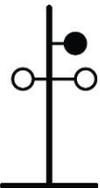
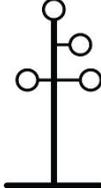
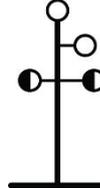
#### *Результаты для варианта № 3*

Результаты расчетов отличаются от варианта № 1 только на участке 3, для которого из Таблиц 9.4 и 9.7 следует, что установка ЗА позволила сократить число грозových отключений с 2,55 до 0,66 откл./год. Общее число грозových отключений одноцепной ВЛ 110 кВ по причине перекрытий  $N_{г,з}^{пер}$  уменьшается с 6,61 до 1,63 откл./год, что меньше требуемого значения  $N_{г,доп} = 2$  откл./год. Вариант № 3 признаем эффективным и принимаем его для дальнейших расчетов.

Числа грозových отключений по причине перекрытий для принятого варианта определяются вкладами участков следующим образом:

$$N_{\Gamma,3}^{\text{пер}} = N_{\Gamma,3(1)}^{\text{пер}} + N_{\Gamma,3(2)}^{\text{пер}} + N_{\Gamma,3(3)}^{\text{пер}} = 0,58 + 0,39 + 0,66 = 1,63 \text{ откл./год.}$$

Таблица 9.5 Характеристика варианта защиты линейной изоляции № 1

Номер участка	1	2	3	Все участки
Длина участка, км	15	10	15	<b>40</b>
Число опор	60	40	60	<b>160</b>
Наличие троса	–	+	+	
Сопроотивления ЗУ опор, Ом	5÷20	5÷20	40÷100	
Схема расстановки ЛО				—
Количество ЛО на опору	1	0	1	
Суммарное количество ЛО	60	0	60	<b>120</b>
$N_{г,3}^{пер}$ , 1/год	0,58	0,39	1,72	<b>2,69</b>

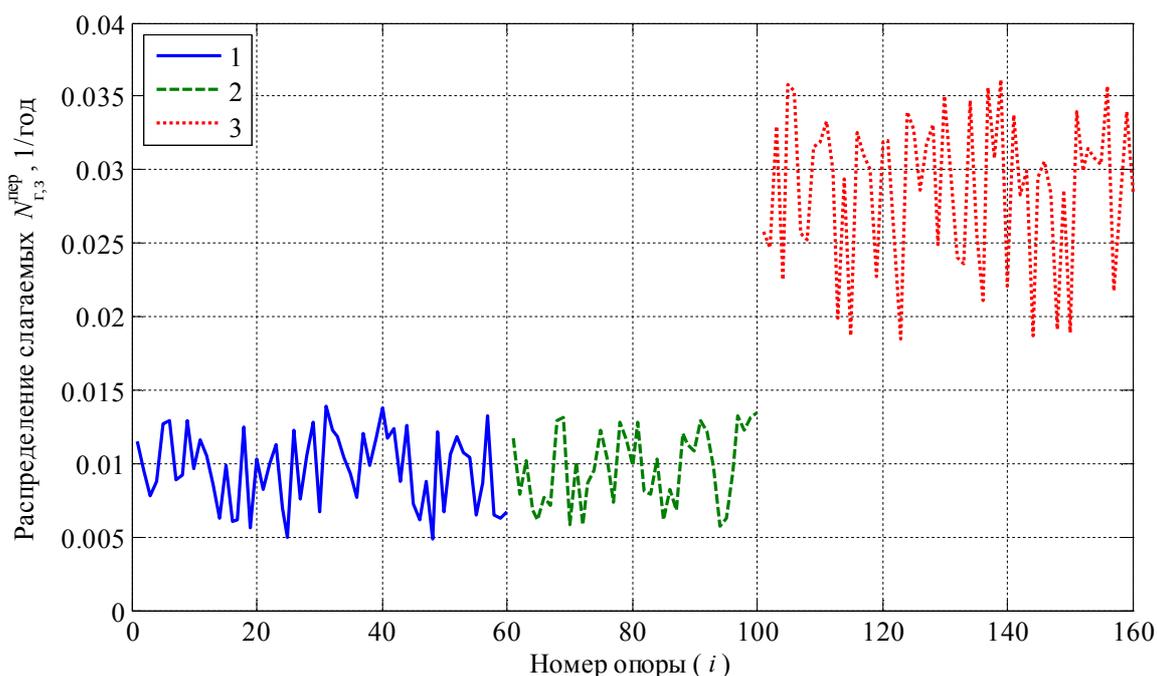
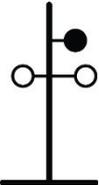
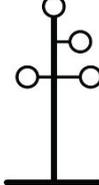
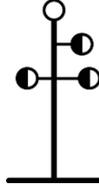


Рисунок 9.3 Числа грозových отключений вдоль трассы ВЛ с ЗА (вариант № 1)  
 1 – участок ВЛ с малым удельным сопротивлением грунта и высокими гололедно-ветровыми нагрузками; 2 – участок ВЛ с малым удельным сопротивлением грунта и умеренными гололедно-ветровыми нагрузками; 3 – участок ВЛ с большим удельным сопротивлением грунта и умеренными гололедно-ветровыми нагрузками

Таблица 9.6 Характеристика варианта защиты линейной изоляции № 2

Номер участка	1	2	3	Все участки
Длина участка, км	15	10	15	<b>40</b>
Число опор	60	40	60	<b>160</b>
Наличие троса	–	+	+	
Сопrotивления ЗУ опор, Ом	5÷20	5÷20	40÷100	
Схема расстановки ЛО				—
Количество ЛО на опору	1	0	1,5	
Суммарное количество ЛО	60	0	90	<b>150</b>
$N_{г,з}^{пер}$ , 1/год	0,58	0,39	1,11	<b>2,08</b>

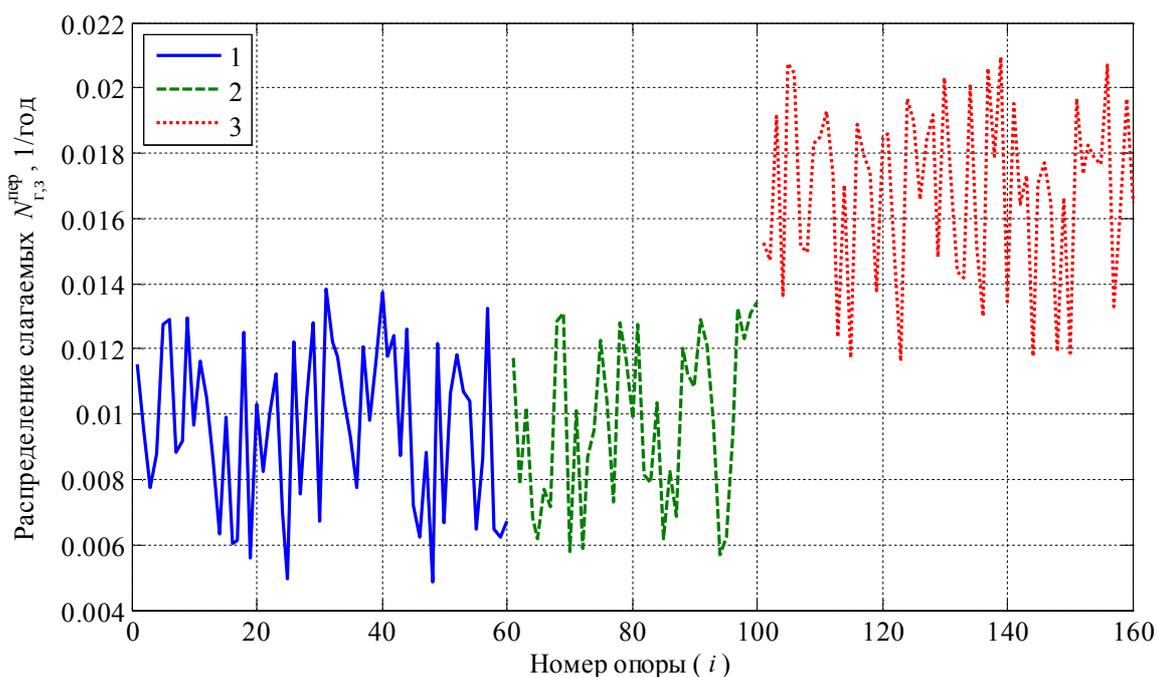
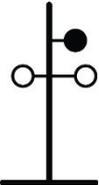
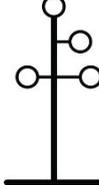
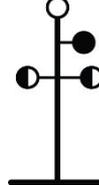


Рисунок 9.4 Числа грозовых отключений вдоль трассы ВЛ с ЗА (вариант № 2)  
 1 – участок ВЛ с малым удельным сопротивлением грунта и высокими гололедно-ветровыми нагрузками; 2 – участок ВЛ с малым удельным сопротивлением грунта и умеренными гололедно-ветровыми нагрузками; 3 – участок ВЛ с большим удельным сопротивлением грунта и умеренными гололедно-ветровыми нагрузками

Таблица 9.7 Характеристика варианта защиты линейной изоляции № 3

Номер участка	1	2	3	Все участки
Длина участка, км	15	10	15	<b>40</b>
Число опор	60	40	60	<b>160</b>
Наличие троса	–	+	+	
Сопrotивления ЗУ опор, Ом	5÷20	5÷20	40÷100	
Схема расстановки ЛО				—
Количество ЛО на опору	1	0	2	
Суммарное количество ЛО	60	0	120	<b>180</b>
$N_{г,з}^{пер}$ , 1/год	0,58	0,39	0,66	<b>1,63</b>

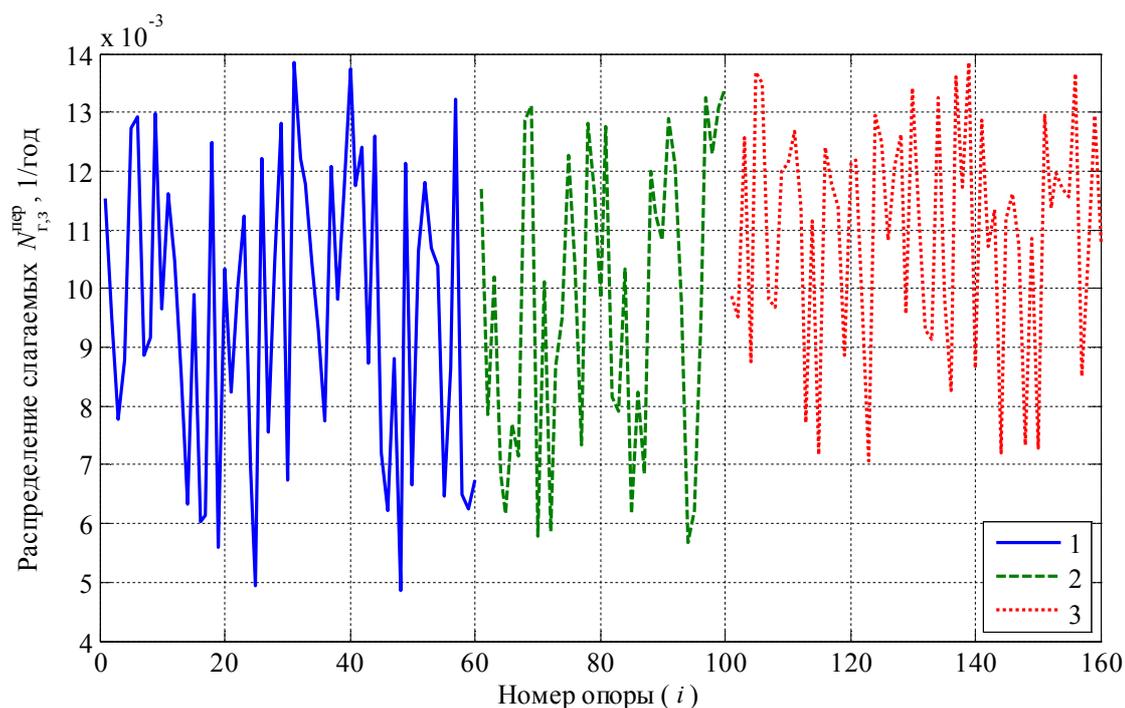


Рисунок 9.5 Числа грозных отключений вдоль трассы ВЛ с ЗА (вариант № 3)  
 1 – участок ВЛ с малым удельным сопротивлением грунта и высокими гололедно-ветровыми нагрузками; 2 – участок ВЛ с малым удельным сопротивлением грунта и умеренными гололедно-ветровыми нагрузками; 3 – участок ВЛ с большим удельным сопротивлением грунта и умеренными гололедно-ветровыми нагрузками

## 9.6 Оценка среднего числа отключений ВЛ по причине повреждений ЗА

9.6.1 Перед определением  $N_{Г,3}^{повр}$  выбираем номинальное напряжение ЗА (в соответствии с п. 7.1). Рассматриваем ЛР и ЛО с выбранными схемами установки ЗА на участках трассы (Таблица 9.8).

Для ЛР выбираем  $U_n^{ЛР}$  в соответствии условием:

$$U_n^{ЛР} \geq 1,02 U_{нр}^{сети} = 1,02 \frac{1,15 \cdot 110}{\sqrt{3}} = 74,5 \text{ кВ}$$

Из каталожных данных выбираем ЛР с  $U_n^{ЛР} = 75 \text{ кВ}$ .

Для ЛО выбираем  $U_n^{ЛО}$  по условию надежной работы аппаратов при квазистационарных перенапряжениях. Рассматриваем аппараты с  $U_{нр} = 77; 84; 88 \text{ кВ}$ .

В рассматриваемом примере принимается, что наиболее тяжелые воздействия квазистационарных перенапряжений на ЛО возникают при однофазном коротком замыкании на землю. В соответствии с исходными данными расчетный уровень квазистационарных перенапряжений  $U_{кв.п.} = 110 \text{ кВ}$ , время срабатывания последней ступени релейной защиты  $t_{рз} = 4 \text{ с}$ . По характеристике «допустимое напряжение – время» с предварительным нагружением из каталога ЛО определяем для времени  $t_{рз} = 4 \text{ с}$  значения допустимых напряжений  $U_{кв.п.}^{доп}$  (Таблица 9.9).

Из Таблицы 9.9 следует, что ЛО с  $U_{нр} = 77 \text{ кВ}$  не проходят по условию  $U_{кв.п.} < U_{кв.п.}^{доп}$ . Поэтому для дальнейшего рассмотрения оставляем ЛО с  $U_n^{ЛО} = 105; 110 \text{ кВ}$ , которые соответствуют  $U_{нр} = 84; 88 \text{ кВ}$ .

9.6.2 В соответствии с п. 7.3 задаемся пропускной способностью аппаратов.

Для ЛР выбираем из каталога производителя два аппарата с зарядами импульса тока пропускной способности  $Q_{пр}^{ЛР} = 1,4; 2,0 \text{ Кл}$ , которым соответствуют токи  $I_{пр}^{ЛР} = 10; 15 \text{ кА}$ . Рассчитываем допустимые энергии по формуле (7.2) (Таблица 9.10) при  $U_{ост} = 180; 190 \text{ кВ}$  в соответствии с каталожными данными.

Для ЛО рассматриваем аппараты с  $w_{уд} = 3,2; 4; 4,6; 5,8 \text{ кДж/кВ}$ . Рассчитываем допустимые энергии по формуле (7.1) (Таблица 9.9).

9.6.3 Расчет среднего числа  $N_{Г,3}^{повр}$  для каждого из участков выполняем по формуле (7.3) в соответствии с положениями п. 7.5. Сначала на основании справочных данных Приложений А и Б строим вспомогательную зависимость  $n_{Г,3}^{повр}(R_{оп}) = N k_i P_w(W_{доп})$ .

Принимаем в соответствии с примечанием к Таблице А.1  $N = 76 \text{ 1/(100 км} \cdot \text{100 гр.ч)}$  для участка 1 (без тросовой защиты) и  $N = 85 \text{ 1/(100 км} \cdot \text{100 гр.ч)}$  для участка 3 (с тросовой защитой).

Для обоих участков принимаем  $k_i = 1$ .

Для каждого из отобранных аппаратов (Таблицы 9.9 и 9.10) по значениям  $W_{\text{доп}}$  определяем вероятности  $P_W(W_{\text{доп}})$  для  $R_{\text{оп}} = 10; 50; 100; 200$  Ом. Для этого пользуемся аппроксимирующими зависимостями с коэффициентами из Таблиц Б.5–Б.8, соответствующими принятым схемам расстановки ЗА. Для каждого аппарата и соответствующей схемы расстановки по полученным четырем значениям  $P_W(W_{\text{доп}})$  строим вспомогательные зависимости  $n_{Г,3}^{\text{повр}}(R_{\text{оп}})$ . Пример такой зависимости приведен для ЛО – на рисунке 9.6 и для ЛР – на рисунке 9.7. По построенным зависимостям  $n_{Г,3}^{\text{повр}}(R_{\text{оп}})$  находим значения  $n_{Г,3,i}^{\text{повр}}(R_{\text{оп}})$  для каждой опоры (с сопротивлением  $R_{\text{оп},i}$ ), примеры которых приведены на рисунках 9.8 и 9.9. Полученные значения подставляем в формулу (7.3).

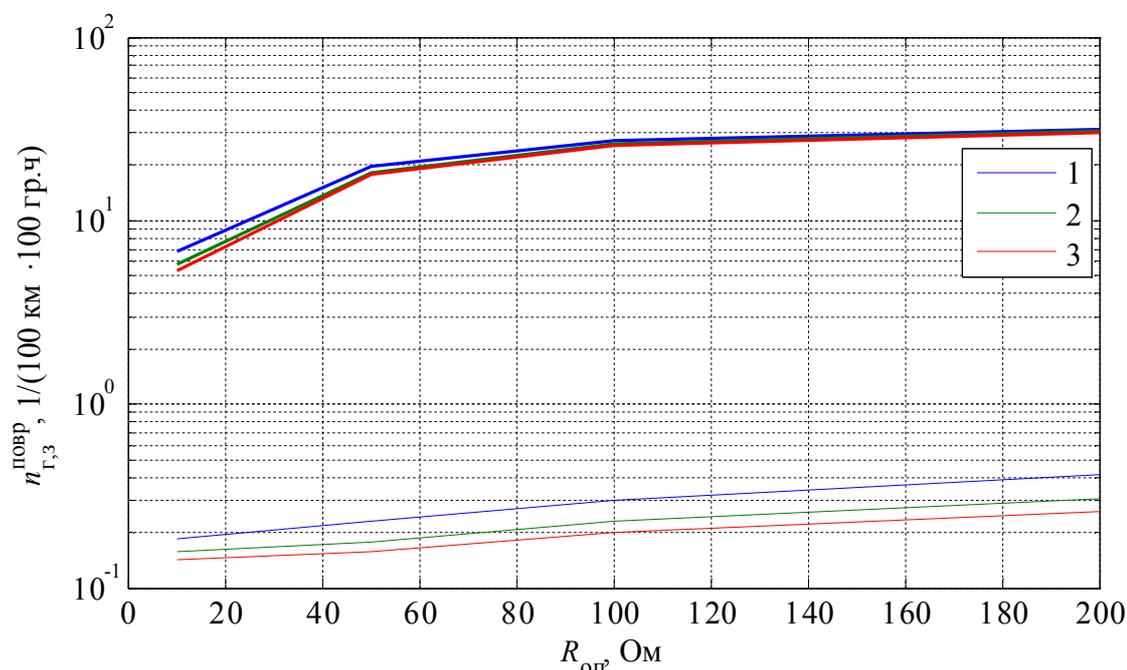


Рисунок 9.6 Удельные числа повреждений ЛО с  $w_{\text{уд}} = 3,2$  кДж/кВ на одноцепной ВЛ 110 кВ 1 –  $U_{\text{нр}} = 77$  кВ; 2 –  $U_{\text{нр}} = 84$  кВ; 3 –  $U_{\text{нр}} = 88$  кВ; тонкими линиями показаны числа повреждений ЛО на участке ВЛ с тросовой защитой, жирными линиями – на участке без тросовой защиты

Таблица 9.8 Схемы расстановки ЗА на участках

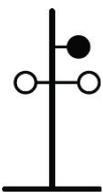
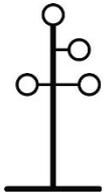
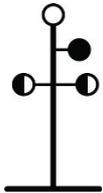
Номер участка	1	2	3	Все участки
Длина участка, км	15	10	15	40
Число опор	60	40	60	160
Наличие троса	–	+	+	—
Схема расстановки ЗА				—

Таблица 9.9 Основные параметры ЛО и числа их повреждений на участках ВЛ

ЛО с током пропускной способности 550 А, $w_{уд} = 3,2$ кДж/кВ			
$U_{ном}/U_{нр}$ , кВ	96/77	105/84	110/88
$U_{ост}(I_n=10$ кА), кВ	258	280	294
$U_{кв.п.}^{доп}$ ( $t_{рз}=4$ с), кВ	107	117	123
$W_{доп}$ , кДж	493	538	563
$n_{г,з(1)}^{повр}$ , 1/год	0,60*	0,52	0,49
$n_{г,з(3)}^{повр}$ , 1/год	0,02*	<b>0,015</b>	0,012
ЛО с током пропускной способности 680 А, $w_{уд} = 4,0$ кДж/кВ			
$U_{ном}/U_{нр}$ , кВ	96/77	105/84	110/88
$U_{ост}(I_n=10$ кА), кВ	253	275	289
$U_{кв.п.}^{доп}$ ( $t_{рз}=4$ с), кВ	107	117	123
$W_{доп}$ , кДж	616	672	704
$n_{г,з(1)}^{повр}$ , 1/год	0,42*	0,36	<b>0,34</b>
$n_{г,з(3)}^{повр}$ , 1/год	0,0098*	0,007	0,006
ЛО с током пропускной способности 850 А, $w_{уд} = 4,6$ кДж/кВ			
$U_{ном}/U_{нр}$ , кВ	96/77	105/84	110/88
$U_{ост}(I_n=10$ кА), кВ	240	259	274
$U_{кв.п.}^{доп}$ ( $t_{рз}=4$ с), кВ	107	117	123
$W_{доп}$ , кДж	708	773	810
$n_{г,з(1)}^{повр}$ , 1/год	0,33*	0,29	0,27
$n_{г,з(3)}^{повр}$ , 1/год	0,0058*	0,0044	0,004
ЛО с током пропускной способности 1000 А, $w_{уд} = 5,8$ кДж/кВ			
$U_{ном}/U_{нр}$ , кВ	96/77	105/84	110/88
$U_{ост}(I_n=10$ кА), кВ	233	252	267
$U_{кв.п.}^{доп}$ ( $t_{рз}=4$ с), кВ	107	117	123
$W_{доп}$ , кДж	893	974	1021
$n_{г,з(1)}^{повр}$ , 1/год	0,23*	0,19	0,18
$n_{г,з(3)}^{повр}$ , 1/год	0,0028*	0,0019	0,0015

$n_{г,з(1)}^{повр}$  – число повреждений ЛО на участке 1;  $n_{г,з(3)}^{повр}$  – число повреждений ЛО на участке 3

\* Расчетные значения приведены для справки; при выборе ЛО расчет не требовался, так как аппараты с  $U_{нр} = 77$  кВ не проходят по уровню квазистационарных перенапряжений

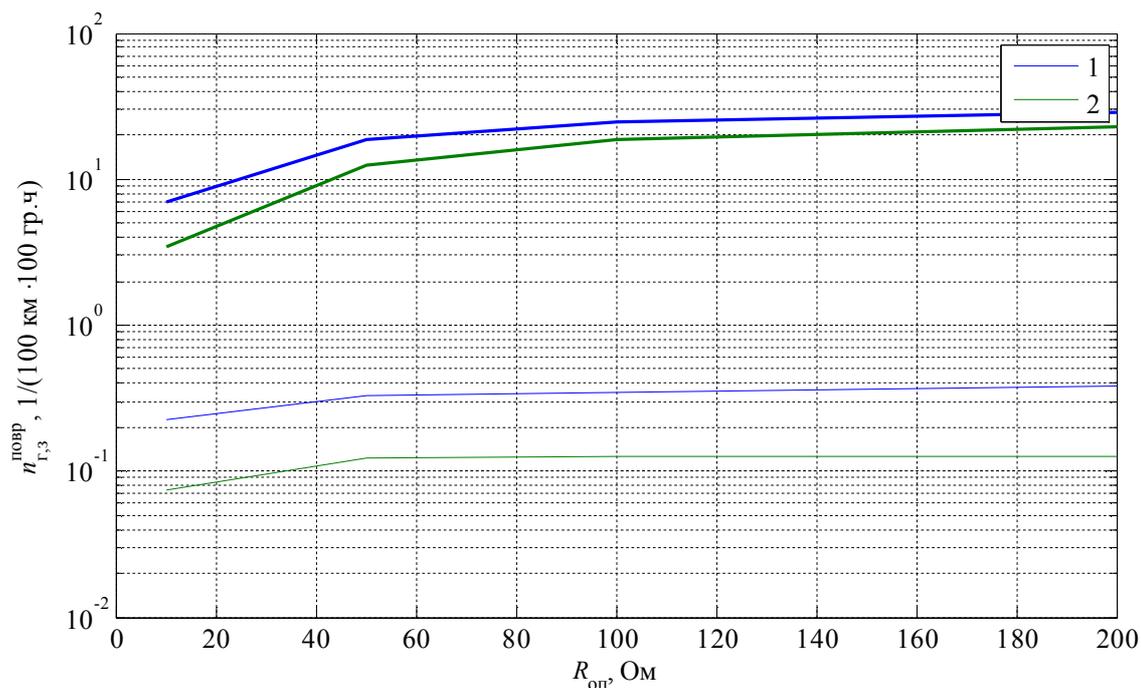


Рисунок 9.7 Удельные числа повреждений ЛР со значением  $Q_{\text{пр}}^{\text{ЛР}} = 2,0 \text{ Кл}$   
 1 –  $I_{\text{пр}}^{\text{ЛР}} = 5 \text{ кА}$  ; 2 –  $I_{\text{пр}}^{\text{ЛР}} = 10 \text{ кА}$  ; тонкими линиями показаны числа повреждений ЛО на участке ВЛ с тросовой защитой, жирными линиями – на участке без тросовой защиты

Таблица 9.10 Основные параметры ЛР и числа их повреждений на участках ВЛ

$Q_{\text{пр}}^{\text{ЛР}} = 1,4 \text{ Кл}$	
$I_{\text{пр}}^{\text{ЛР}}, \text{ кА}$	10
$W_{\text{доп}}, \text{ кДж}$	504
$N_{\text{Г,З}(1)}^{\text{повр}}, 1/\text{год}$	0,60
$N_{\text{Г,З}(3)}^{\text{повр}}, 1/\text{год}$	<b>0,025</b>
$Q_{\text{пр}}^{\text{ЛР}} = 2,0 \text{ Кл}$	
$I_{\text{пр}}^{\text{ЛР}}, \text{ кА}$	15
$W_{\text{доп}}, \text{ кДж}$	760
$N_{\text{Г,З}(1)}^{\text{повр}}, 1/\text{год}$	<b>0,32</b>
$N_{\text{Г,З}(3)}^{\text{повр}}, 1/\text{год}$	0,01

$N_{\text{Г,З}(1)}^{\text{повр}}$  – число повреждений ЛО на участке 1;

$N_{\text{Г,З}(3)}^{\text{повр}}$  – число повреждений ЛО на участке 3

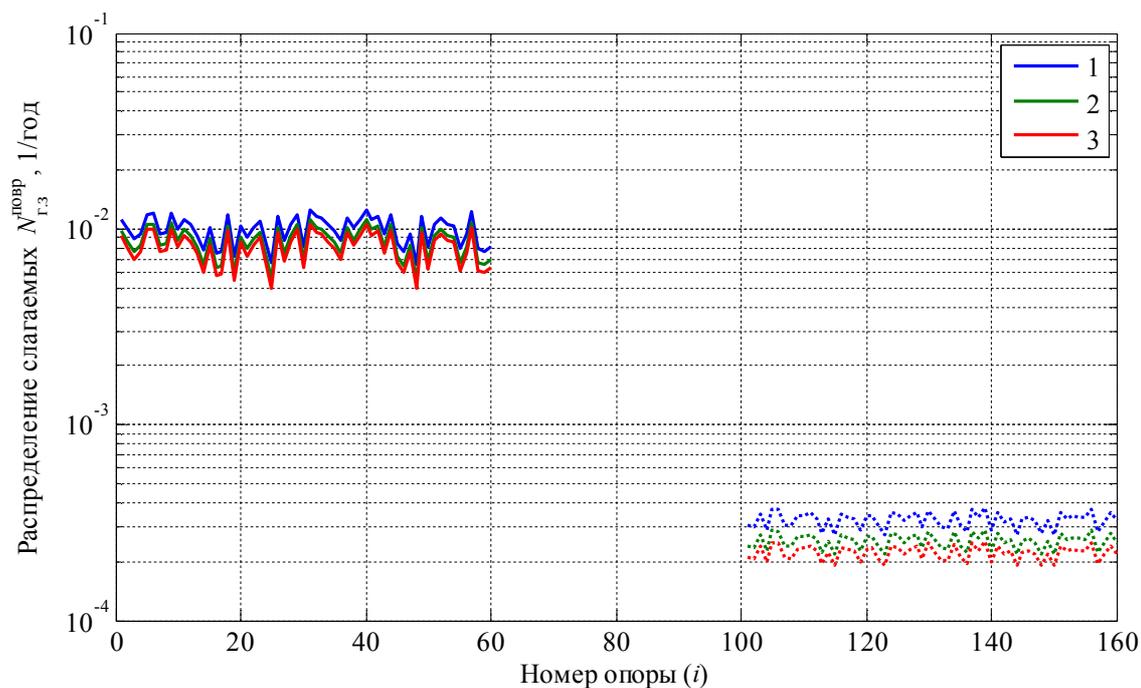


Рисунок 9.8 Числа повреждений ЛО с  $w_{уд} = 3,2$  кДж/кВ вдоль трассы ВЛ  
 1 –  $U_{нр} = 77$  кВ; 2 –  $U_{нр} = 84$  кВ; 3 –  $U_{нр} = 88$  кВ; сплошными линиями показаны числа повреждений ЗА на участке 1; штриховыми линиями показаны числа повреждений ЗА на участке 3

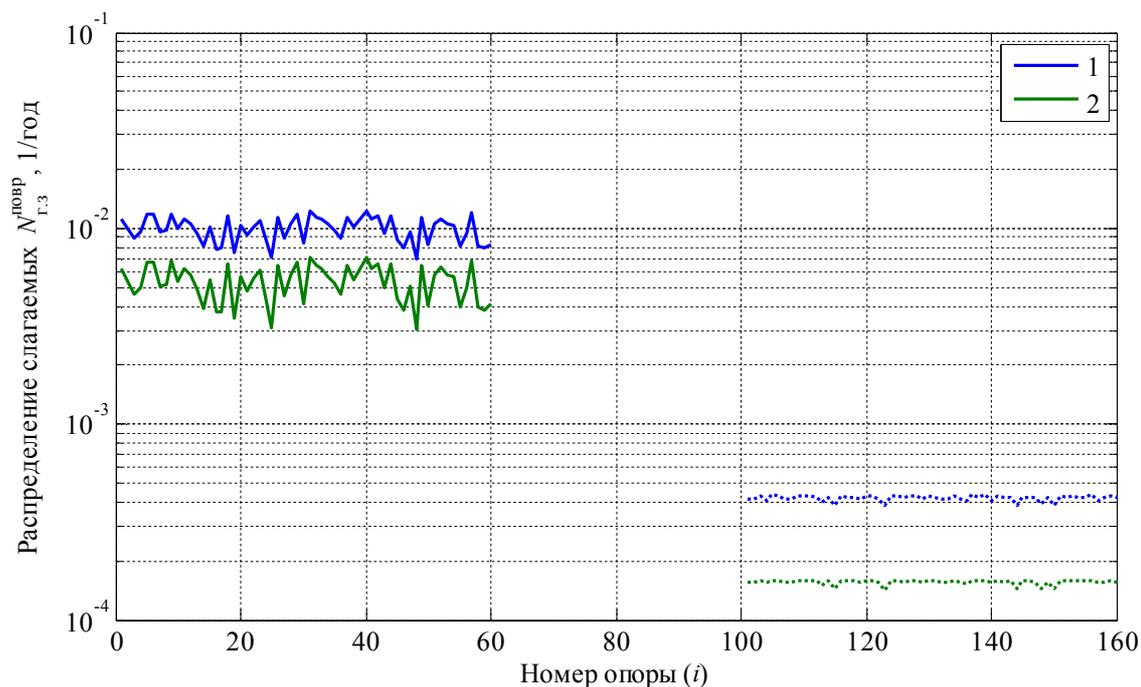


Рисунок 9.9 Расчетные числа повреждений ЛР вдоль трассы ВЛ  
 1 –  $Q_{пр}^{ЛР} = 1,4$  Кл; 2 –  $Q_{пр}^{ЛР} = 2$  Кл;  
 сплошными линиями показаны числа повреждений ЛР на участке 1; штриховыми линиями показаны числа повреждений ЛР на участке 3

Расчетные числа повреждений ЛО на участках 1 и 3 сведены в Таблицу 9.9, ЛР – в Таблицу 9.10.

Для принятой схемы расстановки ЗА по участкам ВЛ расчетное число грозозовых отключений по причине перекрытий гирлянд изоляторов  $N_{Г,З}^{пер} = 1,63$  откл./год. С учетом  $N_{Г,доп} = 2$  откл./год получаем допустимое число грозозовых отключений по причине повреждений ЗА:

$$N_{Г,доп}^{повр} = N_{Г,доп} - N_{Г,З}^{пер} = 0,37 \text{ откл./год.}$$

В случае применения в качестве защитного аппарата ЛО принимаем установку на участке 1 (без тросовой защиты) аппарата с  $N_H^{ЛО} = 110$  кВ,  $w_{уд} = 4,0$  кДж/кВ, а на участке 3 (с тросовой защитой) аппарата с  $N_H^{ЛО} = 105$  кВ,  $w_{уд} = 3,2$  кДж/кВ. В этом случае полное расчетное число грозозовых отключений ВЛ составит:

$$\begin{aligned} N_{Г,З} &= N_{Г,З(1)}^{пер} + N_{Г,З(2)}^{пер} + N_{Г,З(3)}^{пер} + N_{Г,З(1)}^{повр} + N_{Г,З(3)}^{повр} = \\ &= 0,58 + 0,39 + 0,66 + 0,34 + 0,015 = 1,99 \text{ откл./год} \end{aligned}$$

В случае применения в качестве защитного аппарата ЛР принимаем установку на участке 1 аппарата с  $Q_{пр}^{ЛР} = 2,0$  Кл и  $I_{пр}^{ЛР} = 15$  кА, а на участке 3 – аппарата с  $Q_{пр}^{ЛР} = 1,4$  Кл и  $I_{пр}^{ЛР} = 10$  кА<sup>4</sup>. При этом полное расчетное число грозозовых отключений ВЛ составит:

$$\begin{aligned} N_{Г,З} &= N_{Г,З(1)}^{пер} + N_{Г,З(2)}^{пер} + N_{Г,З(3)}^{пер} + N_{Г,З(1)}^{повр} + N_{Г,З(3)}^{повр} = \\ &= 0,58 + 0,39 + 0,66 + 0,32 + 0,025 = 1,98 \text{ откл./год} \end{aligned}$$

Выбор между ЛР и ЛО осуществляем на основании их стоимости.

## 9.7 Проверка защитных характеристик

Рассчитываем вольт-секундную характеристику (ВСХ) гирлянд изоляторов на ВЛ, полагая в формуле (8.1)  $l_{разр} = 1,02$  м:

$$u_{ВСХ}(t) = 1,02 \left( 400 + \frac{710}{t^{0,75}} \right).$$

Для ЛР строим по данным производителя ВСХ ИП и сопоставляем с ВСХ гирлянд изоляторов (рисунок 9.10). ВСХ ИП лежит ниже ВСХ гирлянды более чем на 20% во всем диапазоне предразрядных времен.

<sup>4</sup> Для участка 3 возможно применение ЛР с еще меньшей пропускной способностью, при условии наличия таких аппаратов в каталоге производителя.

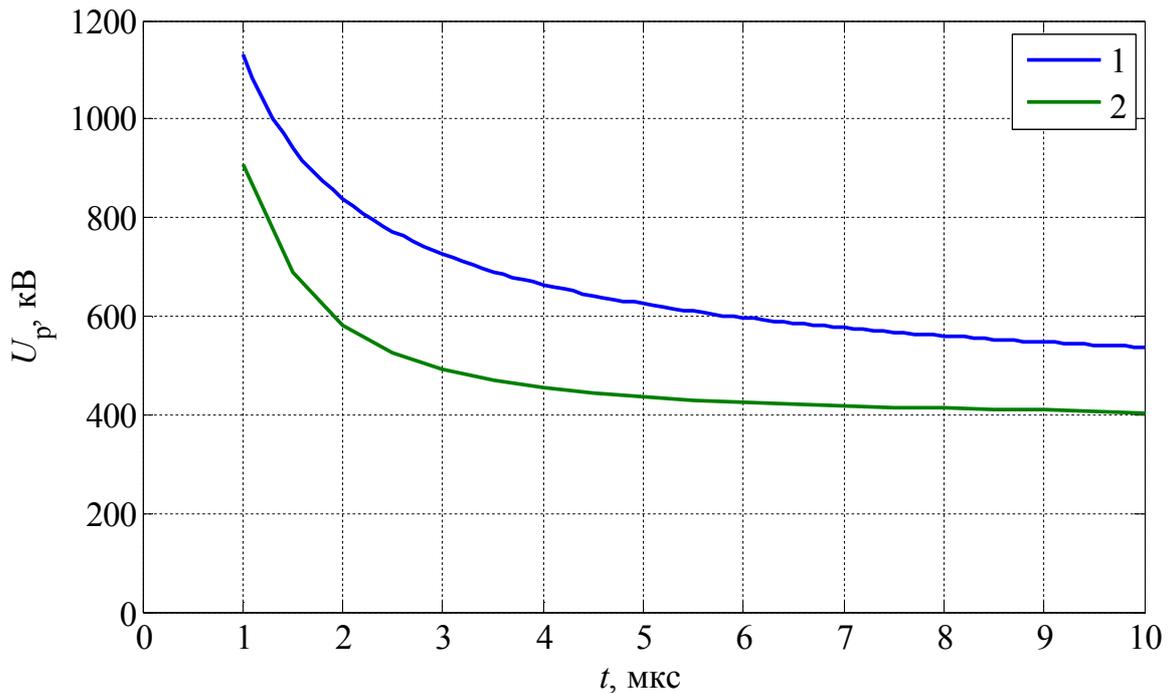


Рисунок 9.10 Вольт-секундные характеристики:  
1 – гирлянды изоляторов; 2 – ИП ЛР

Для ЛО определяем по рисунку П14.1,а РД 153-34.3-35.125-99:

$U_{50} = 630$  кВ для обеих полярностей.

Условие  $1,5U_{ост,10} \leq U_{50\%}$  выполняется для всех ЛО из Таблицы 9.9.

### 9.8 Проверка по току взрывобезопасности

Ток взрывобезопасности выбранных ЛР и ЛО составляет 40 кА, что превышает наибольший ток КЗ на линии 12 кА.

### 9.9 Проверка работы в условиях загрязнения

Надежная работа ЛР в условиях загрязнения и увлажнения подтверждена производителем соответствующими испытаниями для заданной степени загрязнения.

Для ЛО производителем подтверждается выполнение условия  $U_{50\%,з.у.}^{ЛО} \geq U_{50\%,з.у.}^{норм}$ , где  $U_{50\%,з.у.}^{норм} = 110$  кВ в соответствии с Таблицей В.2 СТО 56947007-29.240.069-2011.

**Справочные данные по удельным числам грозových  
отключений ВЛ 35–750 кВ**

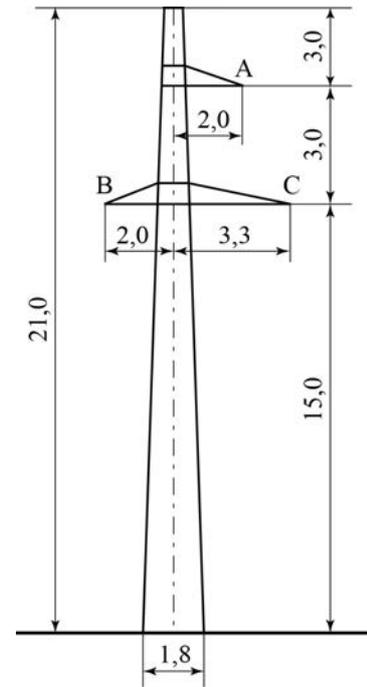
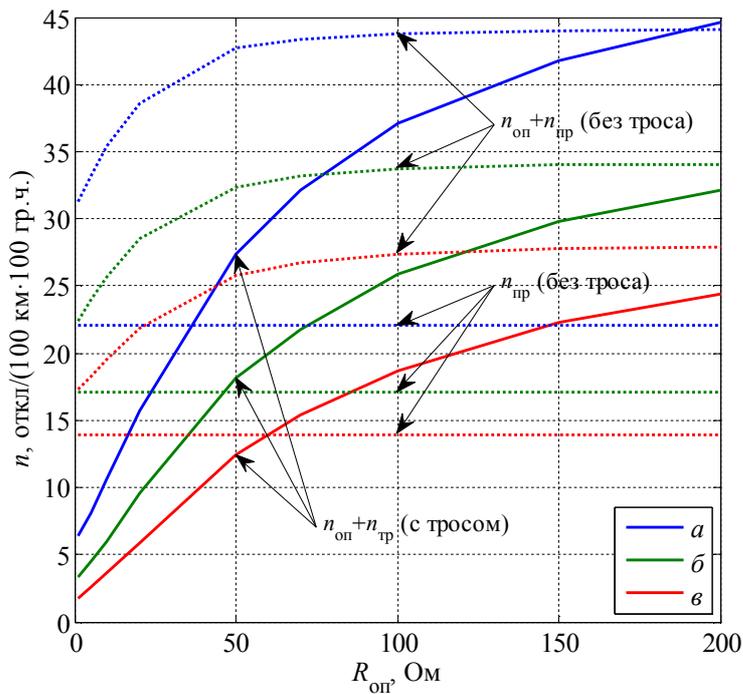


Рисунок А.1 Удельные числа грозвых отключений одноцепной ВЛ 35 кВ на опорах П35-1 при различных уровнях линейной изоляции  
 а)  $l_{\text{разр}} = 0,51$  м; б)  $l_{\text{разр}} = 0,64$  м; в)  $l_{\text{разр}} = 0,76$  м

Таблица А.1 Удельные числа грозвых отключений ВЛ 35 кВ на опорах П35-1

$R_{\text{оп}}, \text{ Ом}$	1	5	10	20	50	70	100	150	200
$n_{\text{г}}, \text{ откл}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ с тросовой защитой}$									
<i>a</i>	6,75	8,46	11,0	16,1	27,7	32,4	37,4	42,1	44,9
<i>б</i>	3,52	4,71	6,26	9,79	18,3	21,9	26,1	30,1	32,4
<i>в</i>	1,91	2,72	3,82	6,08	12,6	15,6	18,9	22,4	24,5
$n_{\text{г}}, \text{ откл}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ без тросовой защиты}$									
<i>a</i>	31,3	33,2	35,4	38,6	42,7	43,4	43,8	44,0	44,1
<i>б</i>	22,4	24,0	25,6	28,5	32,4	33,2	33,8	34,0	34,1
<i>в</i>	17,3	18,3	19,6	21,9	25,8	26,8	27,4	27,8	27,9

**Примечания.**

- 1) для ВЛ с тросовой защитой удельное число грозвых отключений представляет собой сумму  $n_{\text{г}} = n_{\text{оп}} + n_{\text{тр}} + n_{\text{пр}}$ , для ВЛ без тросовой защиты представляет сумму  $n_{\text{г}} = n_{\text{оп}} + n_{\text{пр}}$ ;
- 2) расчетное удельное число прямых ударов молнии в ВЛ с тросовой защитой  $N = 73$  уд/(100 км·100 гр.ч), без тросовой защиты –  $N = 63$  уд/(100 км·100 гр.ч);
- 3) расчетная длина пролета  $\Delta l_{\text{прол}} = 150$  м.

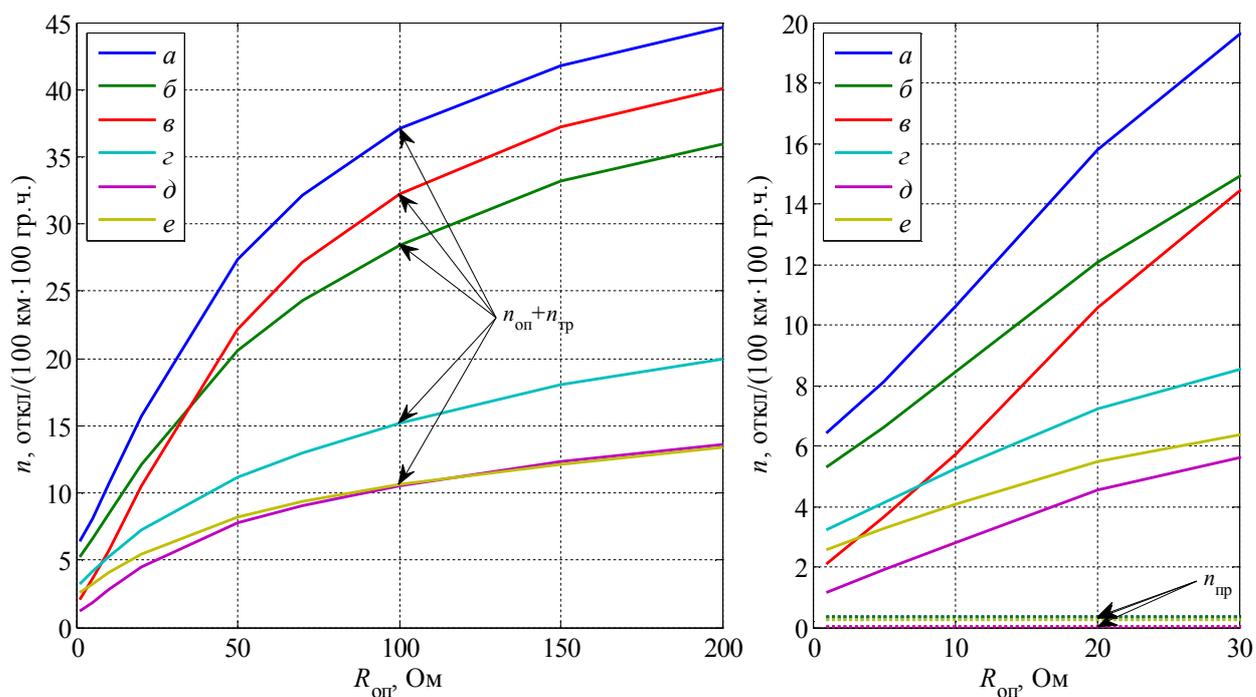


Рисунок А.2 Удельные числа грозвых отключений одноцепной ВЛ 35 кВ на опорах П35-1 с тросовой защитой при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.2 Удельные числа грозвых отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 35 кВ на опорах П35-1 с тросовой защитой

Вариант схемы	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	<i>e</i>			
Число ЗА на опору	0	1		1,5	2				
Схема расстановки ЗА									
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору									
$R_{оп}, \text{ Ом}$	1	5	10	20	50	70	100	150	200
$n_r, \text{ откл}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ с тросовой защитой}$									
<i>a</i>	6,75	8,46	11,0	16,1	27,7	32,4	37,4	42,1	44,9
<i>б</i>	5,64	6,97	8,82	12,4	20,9	24,7	28,8	33,5	36,3
<i>в</i>	2,08	3,64	5,71	10,6	22,3	27,2	32,4	37,3	40,3
<i>г</i>	3,51	4,40	5,51	7,50	11,4	13,2	15,4	18,3	20,2
<i>д</i>	1,17	1,89	2,80	4,54	7,81	9,08	10,6	12,4	13,7
<i>e</i>	2,84	3,52	4,33	5,75	8,50	9,67	10,9	12,4	13,7

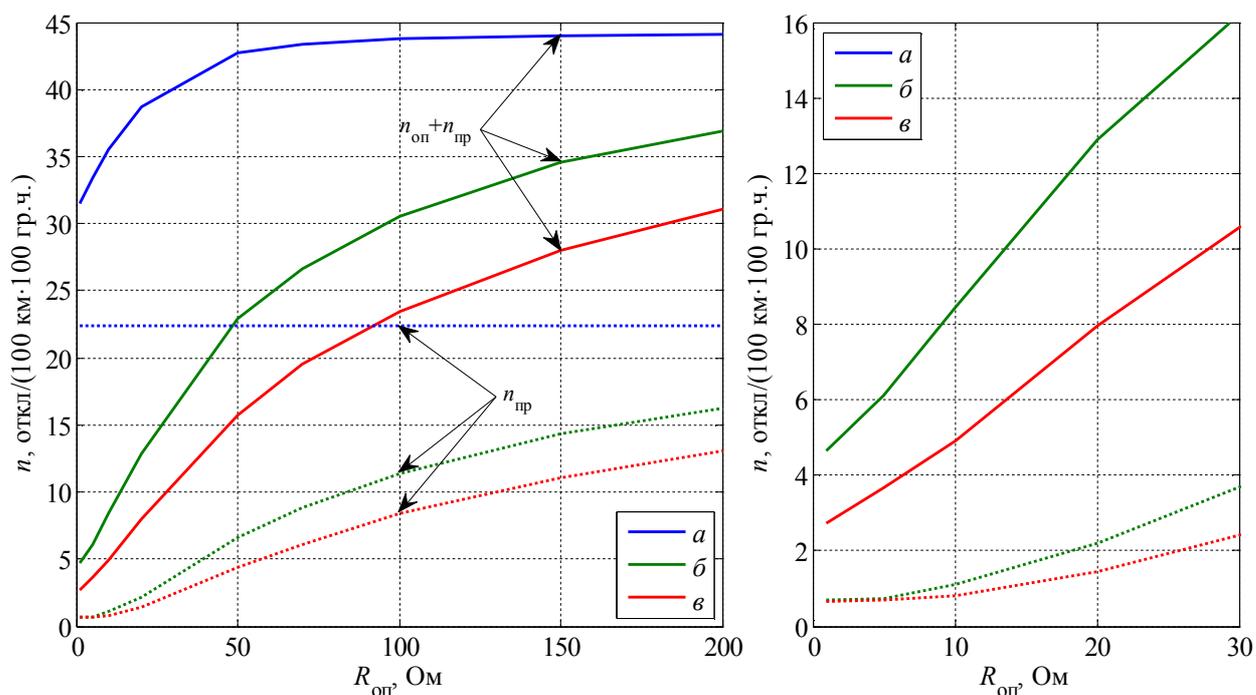


Рисунок А.3 Удельные числа грозвых отключений одноцепной ВЛ 35 кВ на опорах П35-1 без тросовой защиты при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.3 Удельные числа грозвых отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 35 кВ на опорах П35-1 без тросовой защиты

Вариант защиты	<i>a</i>		<i>б</i>		<i>в</i>				
Число ЗА на опору	0		1		2				
Схема расстановки ЗА									
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору									
$R_{оп}, Ом$	1	5	10	20	50	70	100	150	200
$n_{г}, откл/(100 км \cdot 100 гр.ч) без тросовой защиты$									
<i>a</i>	31,3	33,2	35,4	38,6	42,7	43,4	43,8	44,0	44,1
<i>б</i>	4,66	6,11	8,44	12,9	22,9	26,6	30,6	34,6	36,9
<i>в</i>	2,75	3,68	4,90	7,98	15,7	19,5	23,5	28,0	31,1

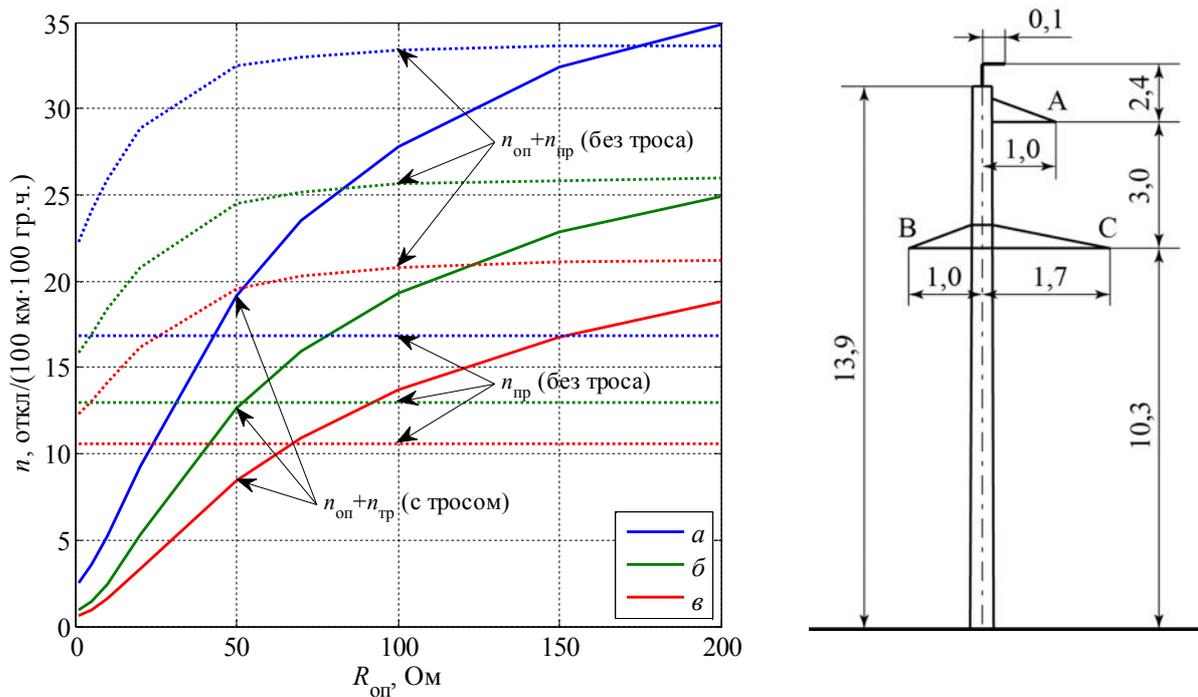


Рисунок А.4 Удельные числа грозвых отключений одноцепной ВЛ 35 кВ на опорах ПБ35-3В при различных уровнях линейной изоляции  
 а)  $l_{\text{разр}} = 0,51$  м; б)  $l_{\text{разр}} = 0,64$  м; в)  $l_{\text{разр}} = 0,76$  м

Таблица А.4 Удельные числа грозвых отключений ВЛ 35 кВ на опорах ПБ35-3в

$R_{\text{оп}}, \text{ Ом}$	1	5	10	20	50	70	100	150	200
$n_{\text{г}}, \text{ откл.}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ с тросовой защитой}$									
<i>a</i>	2,60	3,60	5,24	9,35	19,18	23,5	27,9	32,4	34,9
<i>б</i>	0,947	1,46	2,49	5,37	12,6	15,9	19,3	22,8	25,0
<i>в</i>	0,641	1,00	1,67	3,38	8,47	11,0	13,7	16,8	18,9
$n_{\text{г}}, \text{ откл.}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ без тросовой защиты}$									
<i>a</i>	22,3	24,1	25,9	28,9	32,5	33,0	33,4	33,6	33,7
<i>б</i>	15,8	17,0	18,4	20,8	24,5	25,2	25,6	25,9	26,0
<i>в</i>	12,3	13,1	14,1	16,2	19,6	20,3	20,8	21,1	21,2

**Примечания.**

- 1) для ВЛ с тросовой защитой удельное число грозвых отключений представляет собой сумму  $n_{\text{г}} = n_{\text{оп}} + n_{\text{тр}} + n_{\text{пр}}$ , для ВЛ без тросовой защиты представляет сумму  $n_{\text{г}} = n_{\text{оп}} + n_{\text{пр}}$ ;
- 2) расчетное удельное число прямых ударов молнии в ВЛ с тросовой защитой  $N = 59 \text{ уд}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч})$ , без тросовой защиты –  $N = 48 \text{ уд}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч})$ ;
- 3) расчетная длина пролета  $\Delta l_{\text{прол}} = 150 \text{ м}$ .

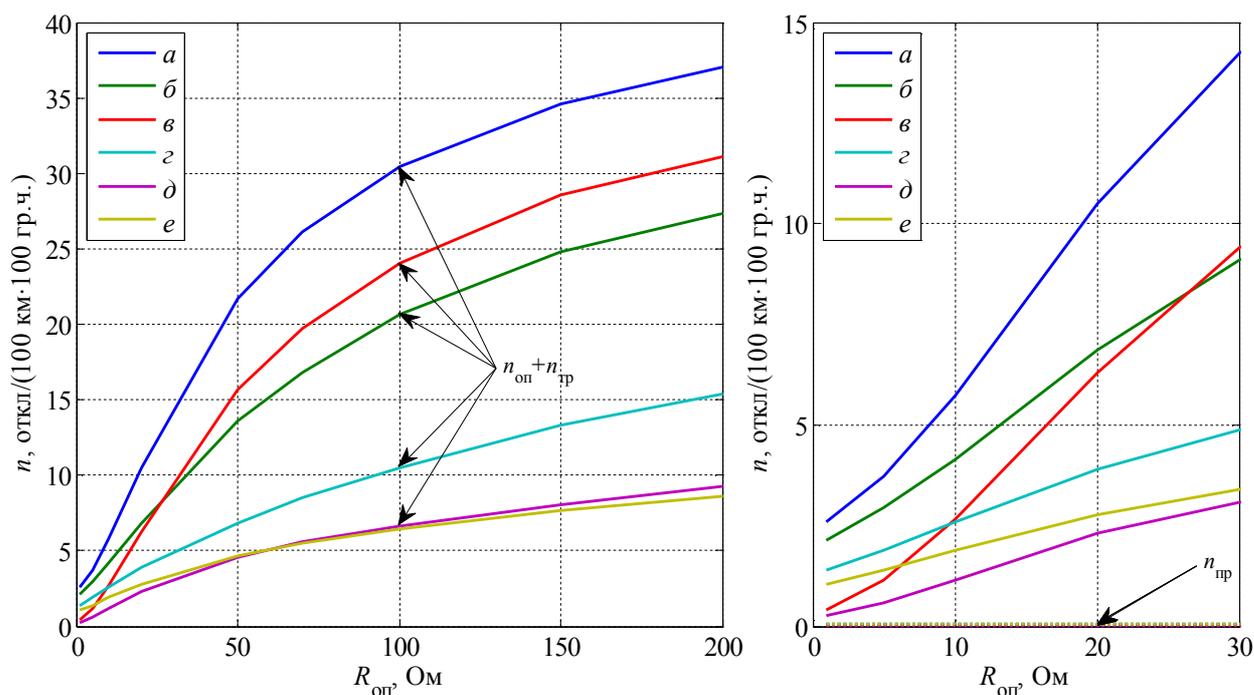


Рисунок А.5 Удельные числа грозвых отключений одноцепной ВЛ 35 кВ на опорах ПБ35-3В с тросовой защитой при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.5 Удельные числа грозвых отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 35 кВ на опорах ПБ35-3в с тросовой защитой

Вариант схемы	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	<i>e</i>			
Число ЗА на опору	0	1		1,5	2				
Схема расстановки ЗА									
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору									
$R_{оп}, \text{ Ом}$	1	5	10	20	50	70	100	150	200
$n_r, \text{ откл}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ с тросовой защитой}$									
<i>a</i>	2,60	3,60	5,24	9,35	19,18	23,5	27,9	32,4	34,9
<i>б</i>	2,17	2,99	4,20	6,91	13,7	16,9	20,7	24,9	27,4
<i>в</i>	0,405	1,14	2,67	6,29	15,7	19,7	24,1	28,6	31,2
<i>г</i>	1,42	1,92	2,64	3,95	6,83	8,52	10,6	13,4	15,4
<i>д</i>	0,255	0,594	1,16	2,31	4,60	5,60	6,64	8,08	9,29
<i>e</i>	1,09	1,44	1,93	2,80	4,72	5,52	6,49	7,72	8,62

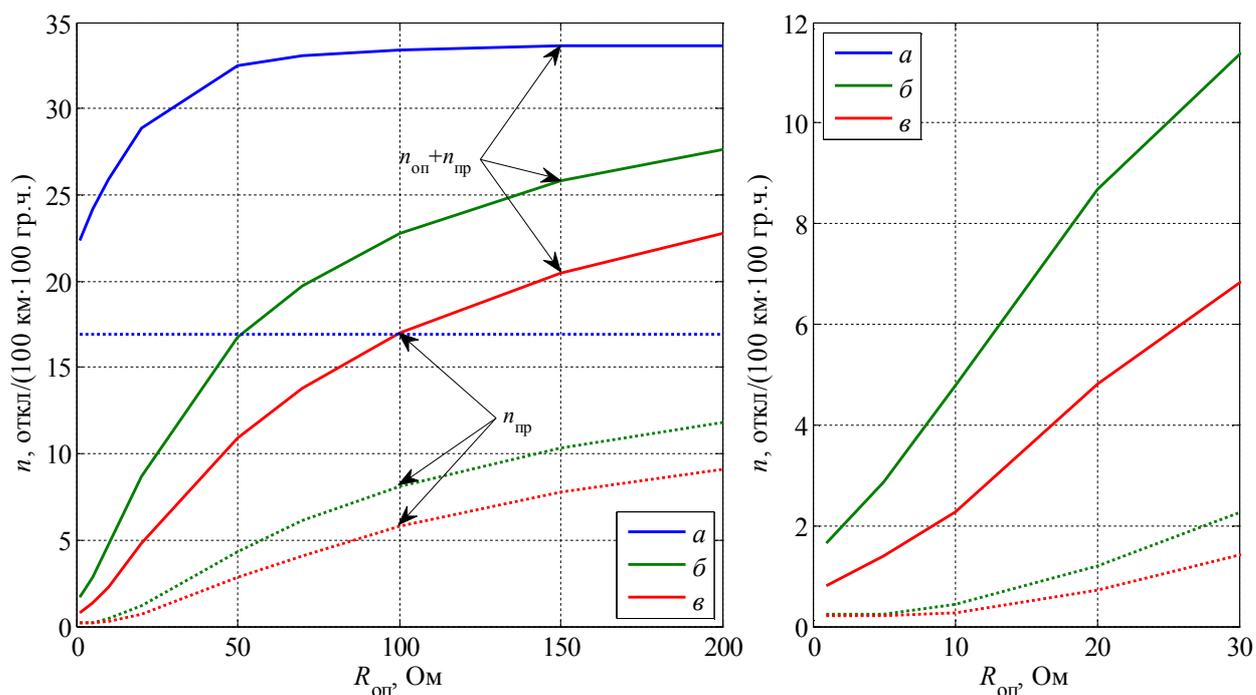


Рисунок А.6 Удельные числа грозвых отключений одноцепной ВЛ 35 кВ на опорах ПБ35-3В без тросовой защиты при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.6 Удельные числа грозвых отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 35 кВ на опорах ПБ35-3в без тросовой защиты

Вариант защиты	<i>a</i>		<i>б</i>		<i>в</i>				
Число ЗА на опору	0		1		2				
Схема расстановки ЗА									
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору									
$R_{оп}, Ом$	1	5	10	20	50	70	100	150	200
$n_{г}, откл/(100 км \cdot 100 гр.ч)$ без тросовой защиты									
<i>a</i>	22,3	24,1	25,9	28,9	32,5	33,0	33,4	33,6	33,7
<i>б</i>	1,66	2,87	4,77	8,69	16,7	19,8	22,8	25,8	27,7
<i>в</i>	0,795	1,39	2,28	4,81	10,9	13,8	17,0	20,5	22,7

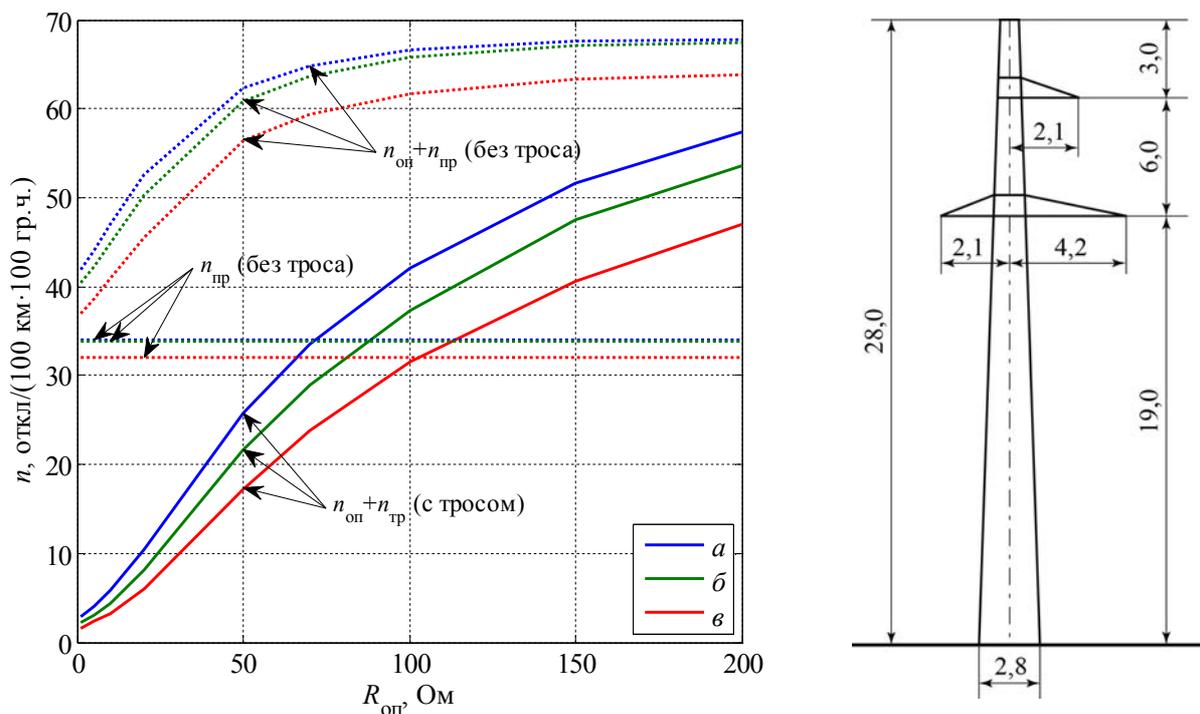


Рисунок А.7 Удельные числа грозовых отключений одноцепной ВЛ 110 кВ на опорах П110-5В при различных уровнях линейной изоляции  
 а)  $l_{\text{разр}} = 1,02$  м; б)  $l_{\text{разр}} = 1,14$  м; в)  $l_{\text{разр}} = 1,27$  м

Таблица А.7 Удельные числа грозовых отключений ВЛ 110 кВ на опорах П110-5В

$R_{\text{оп}}, \text{ Ом}$	1	5	10	20	50	70	100	150	200
$n_{\text{г}}, \text{ откл}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч})$ с тросовой защитой									
<i>a</i>	3,42	4,47	6,29	10,9	26,2	33,9	42,5	52,2	57,8
<i>б</i>	2,70	3,39	4,80	8,50	22,0	29,4	37,8	47,9	54,0
<i>в</i>	1,91	2,66	3,47	6,37	17,5	24,1	31,8	41,0	47,4
$n_{\text{г}}, \text{ откл}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч})$ без тросовой защиты									
<i>a</i>	42,0	44,1	46,9	52,6	62,3	64,8	66,6	67,6	67,8
<i>б</i>	40,4	42,3	44,8	50,3	60,9	63,7	65,8	67,1	67,5
<i>в</i>	37,0	38,7	40,9	45,6	56,5	59,3	61,7	63,3	63,8

**Примечания.**

- 1) для ВЛ с тросовой защитой удельное число грозовых отключений представляет собой сумму  $n_{\text{г}} = n_{\text{оп}} + n_{\text{тр}} + n_{\text{пр}}$ , для ВЛ без тросовой защиты представляет сумму  $n_{\text{г}} = n_{\text{оп}} + n_{\text{пр}}$ ;
- 2) расчетное удельное число прямых ударов молнии в ВЛ с тросовой защитой  $N = 85$  уд/(100 км·100 гр.ч), без тросовой защиты –  $N = 76$  уд/(100 км·100 гр.ч);
- 3) расчетная длина пролета  $\Delta l_{\text{прол}} = 250$  м.

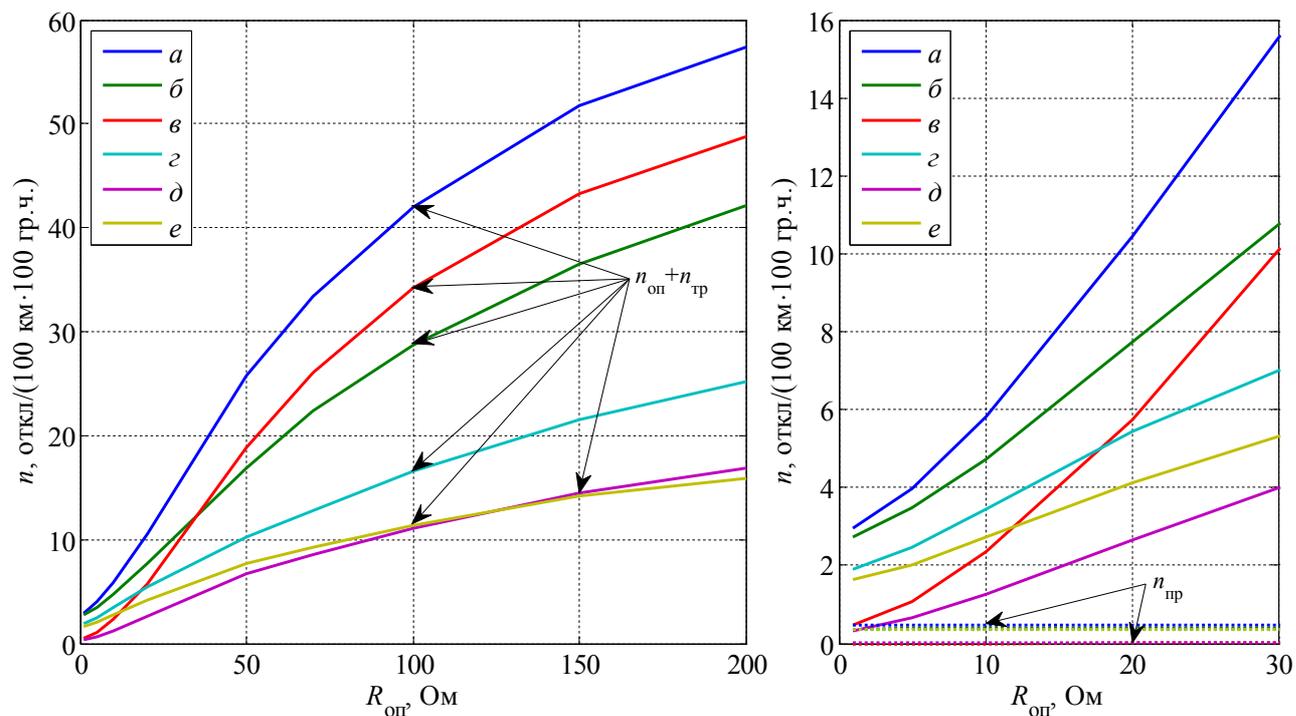


Рисунок А.8 Удельные числа грозовых отключений одноцепной ВЛ 110 кВ на опорах П110-5В с тросовой защитой при различных схемах расстановки ЗАЗ

Таблица А.8 Удельные числа грозовых отключений при различных схемах расстановки ЗАЗ на ВЛ 110 кВ на опорах П110-5В с тросовой защитой

Вариант схемы	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	<i>e</i>			
Число ЗАЗ на опоре	0	1			1,5	2			
Схема расстановки ЗАЗ									
○ – ЗАЗ отсутствует; ● – ЗАЗ установлен; ◐ – ЗАЗ установлен через опору									
$R_{оп}, Ом$	1	5	10	20	50	70	100	150	200
$n_{г}, откл./100 км \cdot 100 гр.ч$ с тросовой защитой									
<i>a</i>	3,42	4,47	6,29	10,9	26,2	33,9	42,5	52,2	57,8
<i>б</i>	3,11	3,85	5,11	8,12	17,2	22,7	29,2	36,9	42,5
<i>в</i>	0,479	1,09	2,34	5,73	18,9	26,2	34,3	43,4	49,1
<i>г</i>	2,29	2,85	3,83	5,82	10,6	13,2	16,9	21,9	25,6
<i>д</i>	0,330	0,655	1,26	2,64	6,76	8,61	11,2	14,4	16,9
<i>e</i>	2,01	2,41	3,10	4,51	8,05	9,65	11,7	14,5	16,2

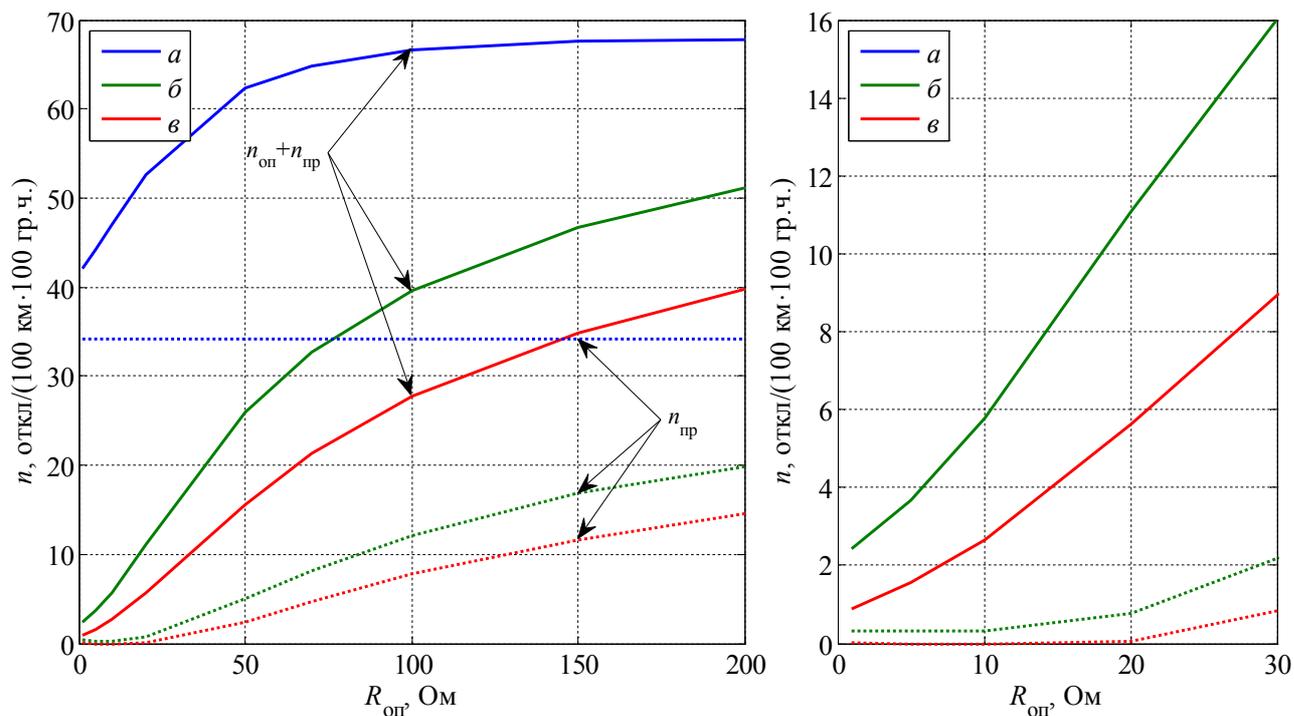


Рисунок А.9 Удельные числа грозвых отключений одноцепной ВЛ 110 кВ на опорах П110-5В без тросовой защиты при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.9 – Удельные числа грозвых отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 110 кВ на опорах П110-5В без тросовой защиты

Вариант защиты	<i>a</i>		<i>б</i>		<i>в</i>				
Число ЗА на опору	0		1		2				
Схема расстановки ЗА									
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору									
$R_{оп}, \text{ Ом}$	1	5	10	20	50	70	100	150	200
$n_{г}, \text{ откл}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ без тросовой защиты}$									
<i>a</i>	42,1	44,2	47,0	52,7	62,4	64,8	66,6	67,6	67,8
<i>б</i>	2,42	3,69	5,76	11,1	25,9	32,8	39,6	46,8	51,1
<i>в</i>	0,902	1,55	2,65	5,62	15,6	21,3	27,8	34,9	39,8

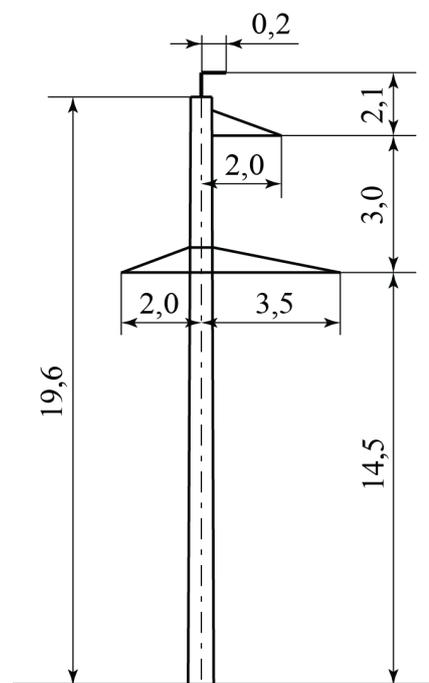
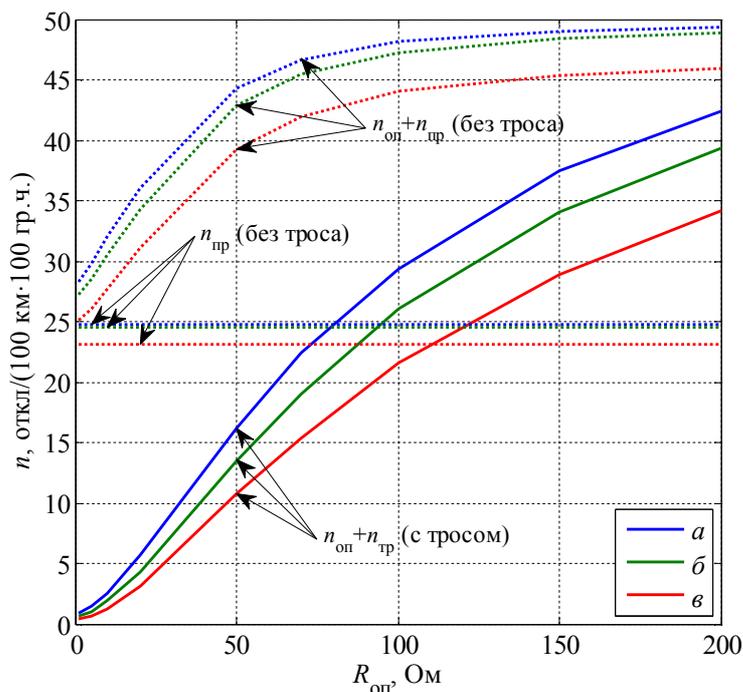


Рисунок А.10 Удельные числа грозвых отключений одноцепной ВЛ 110 кВ на опорах ПБ110-1 при различных уровнях линейной изоляции  
 а)  $l_{\text{разр}} = 1,02$  м; б)  $l_{\text{разр}} = 1,14$  м; в)  $l_{\text{разр}} = 1,27$  м

Таблица А.10 Удельные числа грозвых отключений ВЛ 110 кВ на опорах ПБ110-1

$R_{\text{оп}}, \text{ Ом}$	1	5	10	20	50	70	100	150	200
$n_{\text{г}}, \text{ удкл./}(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ с тросовой защитой}$									
<i>a</i>	1,66	2,21	3,29	6,45	16,9	23,2	30,1	38,3	43,2
<i>б</i>	1,22	1,62	2,52	4,95	14,1	19,6	26,7	34,6	39,9
<i>в</i>	0,9	1,13	1,72	3,56	11,2	15,8	22,0	29,3	34,7
$n_{\text{г}}, \text{ удкл./}(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ без тросовой защиты}$									
<i>a</i>	28,3	29,8	32,0	36,0	44,3	46,7	48,1	49,0	49,4
<i>б</i>	27,2	28,6	30,5	34,3	42,8	45,5	47,2	48,4	48,9
<i>в</i>	25,1	26,1	27,7	31,1	39,2	41,9	44,0	45,4	45,9

**Примечания.**

- 1) для ВЛ с тросовой защитой удельное число грозвых отключений представляет собой сумму  $n_{\text{г}} = n_{\text{оп}} + n_{\text{тр}} + n_{\text{пр}}$ , для ВЛ без тросовой защиты представляет сумму  $n_{\text{г}} = n_{\text{оп}} + n_{\text{пр}}$ ;
- 2) расчетное удельное число прямых ударов молнии в ВЛ с тросовой защитой  $N = 68 \text{ уд./}(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч})$ , без тросовой защиты –  $N = 56 \text{ уд./}(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч})$ ;
- 3) расчетная длина пролета  $\Delta l_{\text{прол}} = 250 \text{ м}$ .

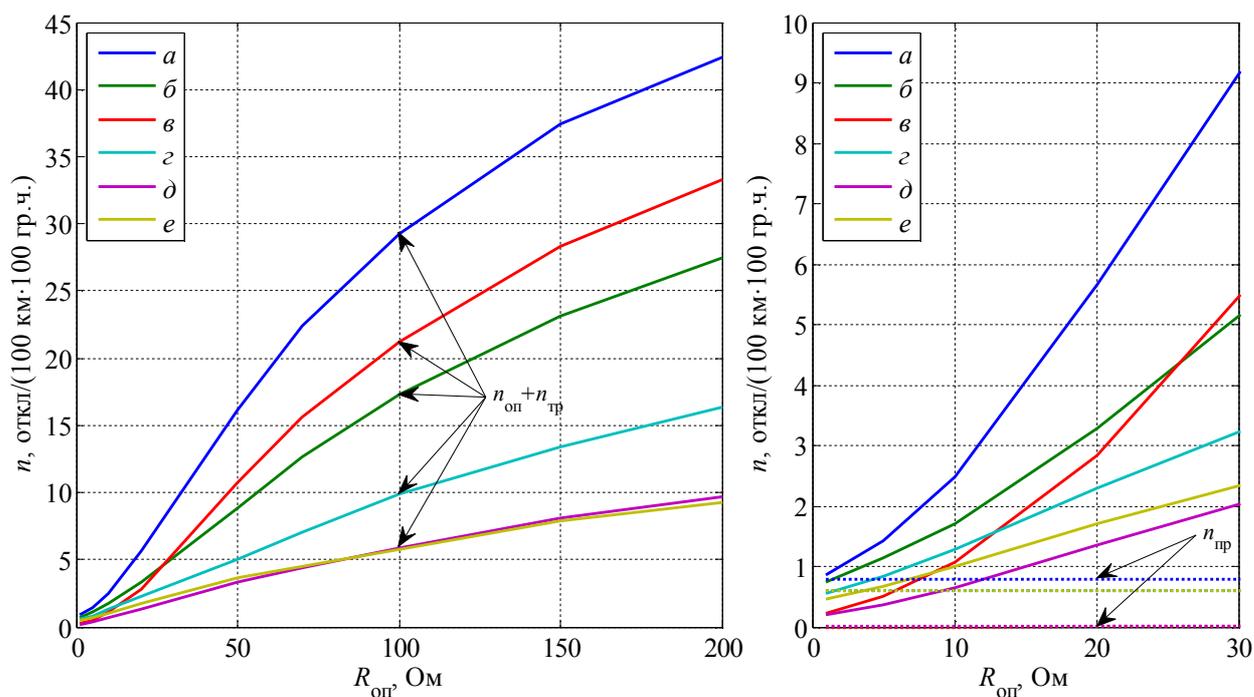


Рисунок А.11 Удельные числа грозных отключений одноцепной ВЛ 110 кВ на опорах ПБ110-1 с тросовой защитой при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.11 Удельные числа грозных отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 110 кВ на опорах ПБ110-1 с тросовой защитой

Вариант схемы	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	<i>e</i>			
Число ЗА на опору	0	1		1,5	2				
Схема расстановки ЗА									
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору									
$R_{оп}, \text{ Ом}$	1	5	10	20	50	70	100	150	200
$n_{г}, \text{ откл}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ с тросовой защитой}$									
<i>a</i>	1,66	2,21	3,29	6,45	16,9	23,2	30,1	38,3	43,2
<i>б</i>	1,33	1,74	2,31	3,89	9,47	13,3	17,9	23,7	28,1
<i>в</i>	0,214	0,504	1,07	2,84	10,8	15,7	21,3	28,5	33,6
<i>г</i>	1,14	1,43	1,89	2,89	5,67	7,65	10,4	14,0	16,9
<i>д</i>	0,196	0,357	0,658	1,36	3,39	4,38	5,90	8,17	9,72
<i>e</i>	1,06	1,27	1,60	2,29	4,22	5,06	6,35	8,43	9,84

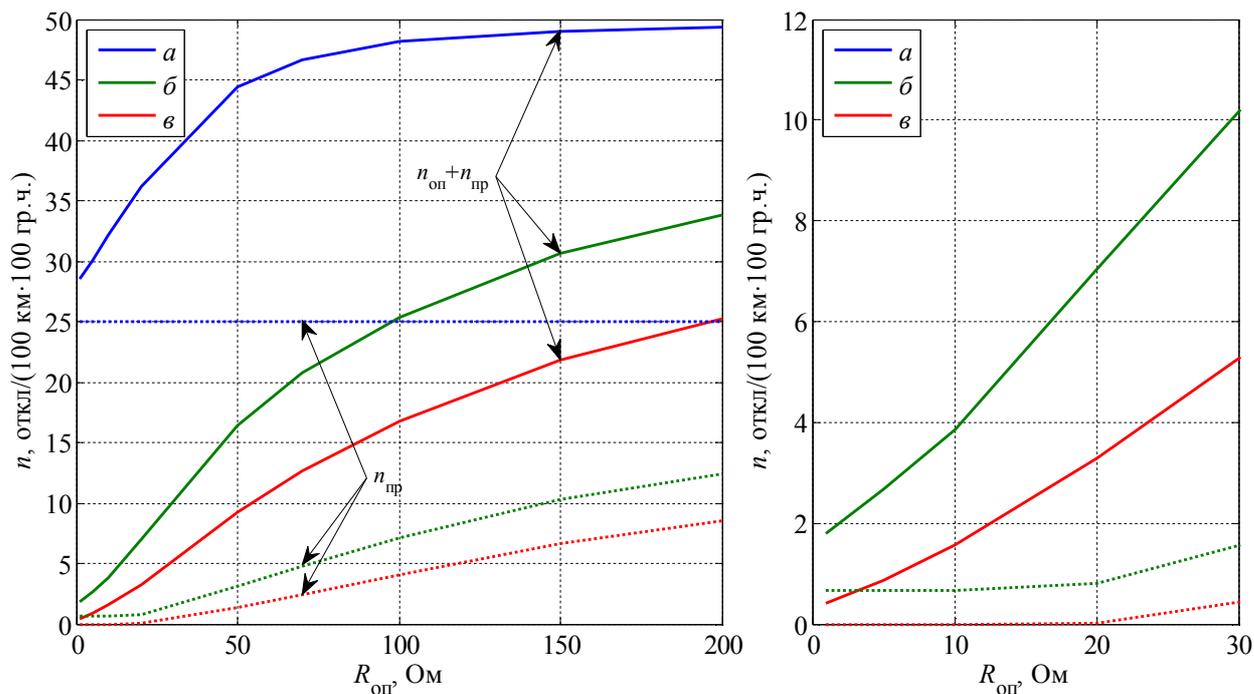


Рисунок А.12 Удельные числа грозных отключений одноцепной ВЛ 110 кВ на опорах ПБ110-1 без тросовой защиты при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.12 Удельные числа грозных отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 110 кВ на опорах ПБ110-1 без тросовой защиты

Вариант защиты	<i>a</i>		<i>б</i>		<i>в</i>				
Число ЗА на опору	0		1		2				
Схема расстановки ЗА									
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору									
$R_{оп}, \text{ Ом}$	1	5	10	20	50	70	100	150	200
$n_{г}, \text{ откл}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ без тросовой защиты}$									
<i>a</i>	28,3	29,8	32,0	36,0	44,3	46,7	48,1	49,0	49,4
<i>б</i>	1,78	2,66	3,86	7,04	16,4	20,8	25,4	30,6	33,9
<i>в</i>	0,414	0,858	1,56	3,29	9,25	12,6	16,7	21,8	25,2

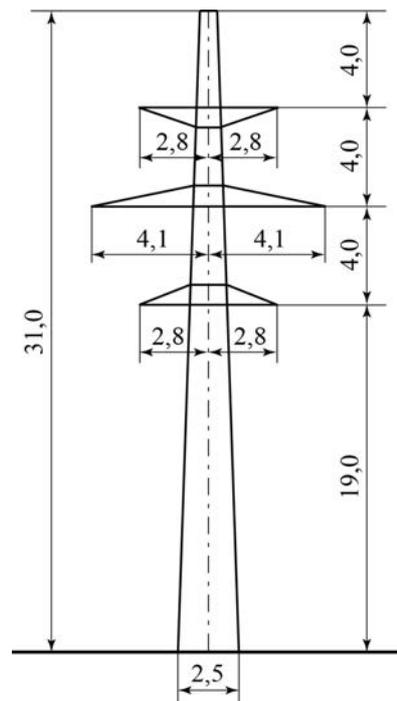
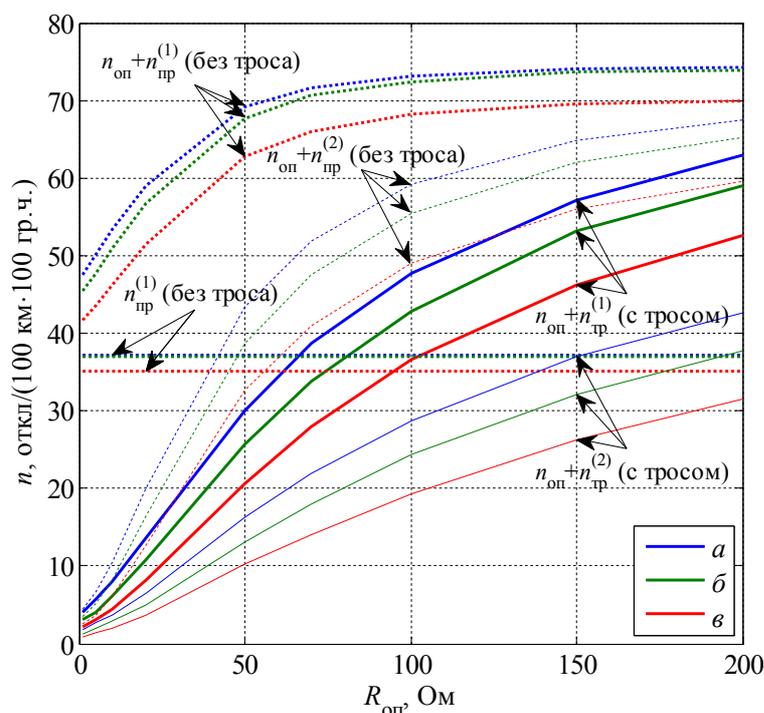


Рисунок А.13 Удельные числа грозовых отключений двухцепной ВЛ 110 кВ на опорах П110-2В при различных уровнях линейной изоляции  
 а)  $l_{разр} = 1,02$  м; б)  $l_{разр} = 1,14$  м; в)  $l_{разр} = 1,27$  м

Таблица А.13 Удельные числа грозовых отключений ВЛ 110 кВ на опорах П110-2В

$R_{оп}$ , Ом		1	5	10	20	50	70	100	150	200
$n_{г}$ , откл./100 км·100 гр.ч с тросовой защитой										
$n_{г}^{(1)}$	а	4,87	6,51	8,92	14,4	31	39,5	48,6	58,1	63,8
	б	3,85	4,86	6,91	11,6	26,3	34,5	43,6	53,9	59,7
	в	2,84	3,71	5,03	8,81	21,2	28,5	37,1	46,7	53,2
$n_{г}^{(2)}$	а	1,77	2,72	3,60	6,46	16,3	22,0	28,8	37,0	42,6
	б	1,31	1,91	2,88	4,99	13,2	18,1	24,3	32,1	37,8
	в	0,885	1,33	1,98	3,60	10,2	14,0	19,3	26,2	31,6
$n_{г}$ , откл./100 км·100 гр.ч без тросовой защиты										
$n_{г}^{(1)}$	а	47,5	50,2	53,3	59,1	69,3	71,7	73,2	74,0	74,2
	б	45,5	47,8	50,8	56,8	67,8	70,6	72,4	73,6	73,9
	в	41,7	43,5	46,2	51,6	62,7	66,0	68,2	69,5	70,0
$n_{г}^{(2)}$	а	4,48	6,73	10,4	20,0	43,4	51,9	59,2	64,8	67,5
	б	3,49	5,09	8,25	16,4	38,8	47,5	55,5	62,0	65,3
	в	2,62	3,76	6,10	12,7	32,6	41,0	49,0	56,0	59,6

Примечания.

- 1) сплошными линиями на рисунке показаны составляющие удельных чисел грозовых отключений для ВЛ с тросовой защитой, штриховыми линиями – для ВЛ без тросовой защиты;
- 2) жирными линиями на рисунке показаны составляющие удельных грозовых одноцепных отключений  $n_{г}^{(1)}$ , тонкими линиями – двухцепных отключений  $n_{г}^{(2)}$ ;
- 3) для ВЛ с тросовой защитой удельное число грозовых отключений представляет собой сумму  $n_{г} = n_{оп} + n_{пр} + n_{пр}$ , для ВЛ без тросовой защиты представляет сумму  $n_{г} = n_{оп} + n_{пр}$ ;
- 4) удельное число прямых ударов молнии в ВЛ с тросовой защитой составляет  $N = 89$  уд/(100 км·100 гр.ч), без тросовой защиты –  $N = 83$  уд/(100 км·100 гр.ч);
- 5) расчетная длина пролета  $\Delta l_{прол} = 250$  м.

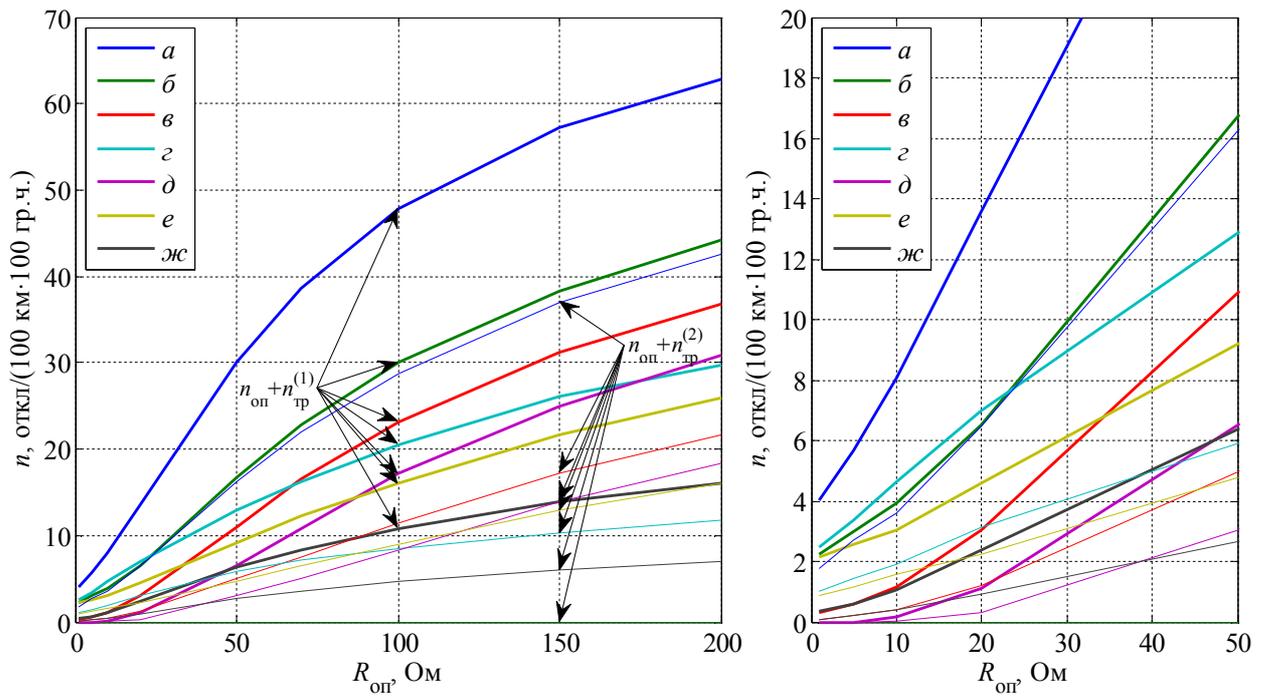


Рисунок А.14 Удельные числа грозвых отключений одноцепной ВЛ 110 кВ на опорах П110-2В с тросовой защитой при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.14 Удельные числа грозвых отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 110 кВ на опорах П110-2В с тросовой защитой

Вариант защиты	<i>а</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	<i>е</i>	<i>ж</i>			
Число ЗА на опору	0	3			4					
Схема расстановки ЗА										
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору										
$R_{оп}, Ом$	1	5	10	20	50	70	100	150	200	
$n_{г}, откл./100 км·100 гр.ч) с тросовой защитой$										
$n_{г}^{(1)}$	<i>а</i>	4,87	6,51	8,92	14,4	31	39,5	48,6	58,1	63,8
	<i>б</i>	2,65	3,44	4,36	6,96	17,2	23,3	30,6	38,9	44,8
	<i>в</i>	0,328	0,600	1,14	3,03	10,9	16,6	23,3	31,4	37,1
	<i>г</i>	3,18	4,09	5,33	7,67	13,6	17,0	21,2	26,8	30,4
	<i>д</i>	0	0	0,141	1,12	6,53	10,8	17,2	25,2	31,1
	<i>е</i>	3,01	3,44	3,92	5,43	10,0	13,1	16,9	22,5	26,8
	<i>ж</i>	0,335	0,600	1,07	2,39	6,37	8,33	10,8	13,9	16,1
$n_{г}^{(2)}$	<i>а</i>	1,77	2,72	3,60	6,46	16,3	22,0	28,8	37,0	42,6
	<i>б</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>в</i>	0,087	0,197	0,397	1,18	4,97	7,59	11,5	17,3	21,7
	<i>г</i>	0,992	1,45	1,91	3,12	5,89	7,19	8,51	10,3	11,8
	<i>д</i>	0	0	0,039	0,323	3,06	5,12	8,34	14,1	18,4
	<i>е</i>	0,888	1,17	1,59	2,25	4,78	6,55	9,12	13,0	16,3
	<i>ж</i>	0,091	0,193	0,382	0,928	2,67	3,61	4,71	6,0	7,0

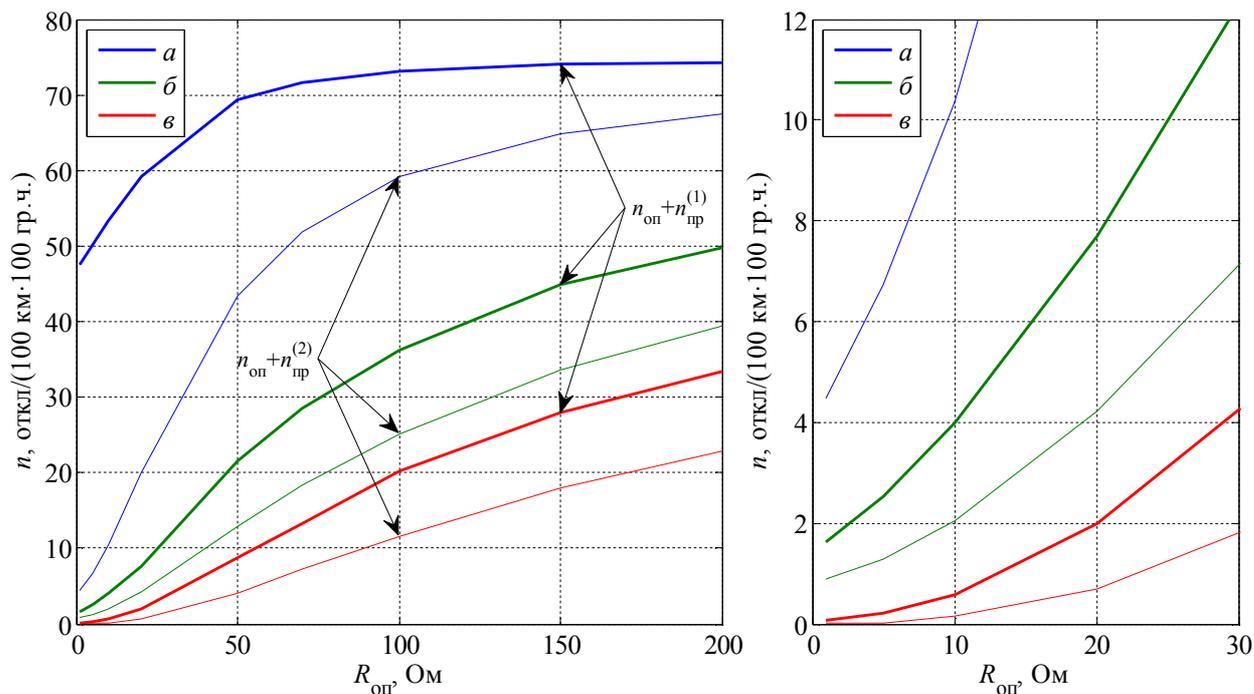


Рисунок А.15 Удельные числа грозвых отключений одноцепной ВЛ 110 кВ на опорах П110-2В без тросовой защиты при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.15 Удельные числа грозвых отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 110 кВ на опорах П110-2В без тросовой защиты

Вариант защиты	<i>a</i>		<i>б</i>		<i>в</i>					
Число ЗА на опору	0		2		4					
Схема расстановки ЗА										
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору										
$R_{оп}, Ом$	1	5	10	20	50	70	100	150	200	
$n_{г}, откл/(100 км \cdot 100 гр.ч)$ без тросовой защиты										
$n_{г}^{(1)}$	<i>a</i>	47,5	50,2	53,3	59,1	69,3	71,7	73,2	74,0	74,2
	<i>б</i>	1,62	2,51	3,99	7,68	21,5	28,5	36,3	44,8	49,8
	<i>в</i>	0,067	0,201	0,579	1,98	8,79	13,3	20,2	27,9	33,5
$n_{г}^{(2)}$	<i>a</i>	4,48	6,73	10,4	20,0	43,4	51,9	59,2	64,8	67,5
	<i>б</i>	0,884	1,29	2,05	4,21	12,9	18,4	25,2	33,6	39,4
	<i>в</i>	0,007	0,015	0,163	0,706	4,0	7,22	11,6	17,9	22,8

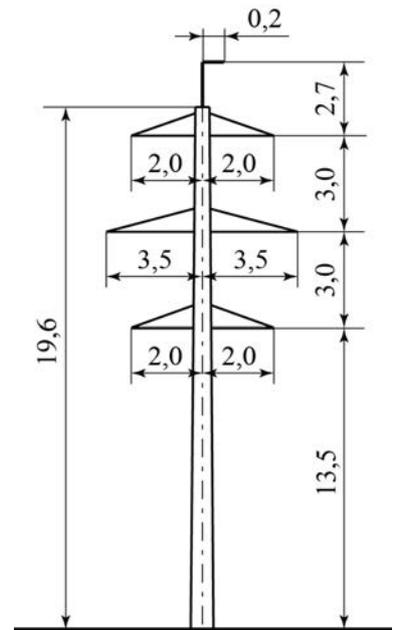
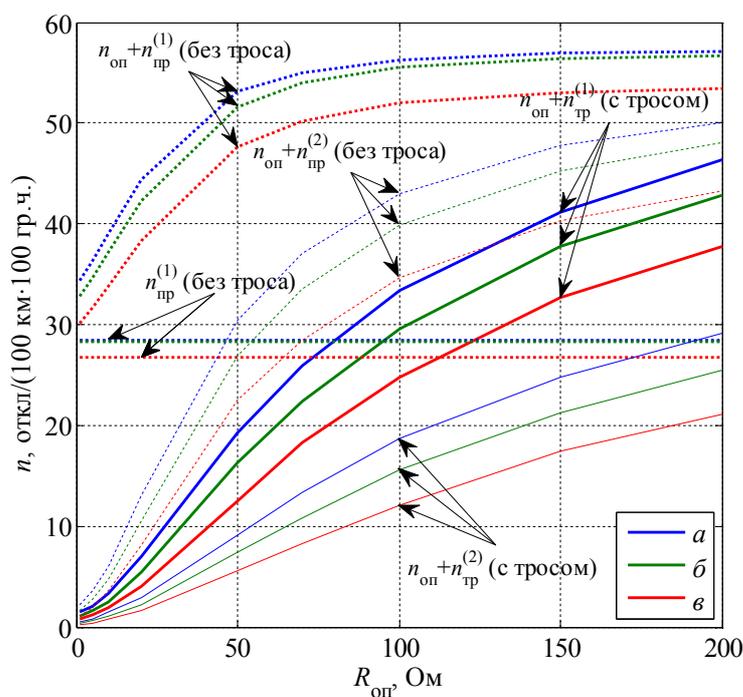


Рисунок А.16 Удельные числа грозовых отключений двухцепной ВЛ 110 кВ на опорах ПБ110-2 при различных уровнях линейной изоляции  
 а)  $l_{\text{разр}} = 1,02$  м; б)  $l_{\text{разр}} = 1,14$  м; в)  $l_{\text{разр}} = 1,27$  м

Таблица А.16 Удельные числа грозовых отключений ВЛ 110 кВ на опорах ПБ110-2

$R_{\text{оп}}, \text{ Ом}$	1	5	10	20	50	70	100	150	200	
$n_{\text{Г}}, \text{ откл}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ с тросовой защитой}$										
$n_{\text{Г}}^{(1)}$	<i>a</i>	2,34	2,92	4,21	7,79	20,2	26,7	34,2	42,0	47,2
	<i>б</i>	1,72	2,30	3,15	6,13	17,0	23,1	30,2	38,5	43,5
	<i>в</i>	1,24	1,66	2,39	4,49	13,1	18,8	25,3	33,1	38,3
$n_{\text{Г}}^{(2)}$	<i>a</i>	0,524	0,83	1,45	2,88	9,13	13,4	18,7	24,8	29,2
	<i>б</i>	0,341	0,62	1,03	2,21	7,38	10,8	15,6	21,2	25,5
	<i>в</i>	0,236	0,401	0,761	1,61	5,58	8,23	12,1	17,4	21,0
$n_{\text{Г}}, \text{ откл}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ без тросовой защиты}$										
$n_{\text{Г}}^{(1)}$	<i>a</i>	34,3	36,3	39,0	44,5	53,1	55,0	56,2	56,9	57,0
	<i>б</i>	32,9	34,7	37,1	42,4	51,6	54,0	55,5	56,4	56,7
	<i>в</i>	30,1	31,7	33,7	38,3	47,6	50,2	52,0	53,0	53,4
$n_{\text{Г}}^{(2)}$	<i>a</i>	2,26	3,55	6,04	13,0	30,5	37,0	43,0	47,8	50,1
	<i>б</i>	1,57	2,69	4,75	10,6	26,9	33,6	39,9	45,2	48,1
	<i>в</i>	1,06	1,91	3,55	8,09	22,5	28,4	34,7	40,3	43,3

**Примечания.**

- 1) сплошными линиями на рисунке показаны составляющие удельных чисел грозовых отключений для ВЛ с тросовой защитой, штриховыми линиями – для ВЛ без тросовой защиты;
- 2) жирными линиями на рисунке показаны составляющие удельных грозовых одноцепных отключений  $n_{\text{Г}}^{(1)}$ , тонкими линиями – двухцепных отключений  $n_{\text{Г}}^{(2)}$ ;
- 3) для ВЛ с тросовой защитой удельное число грозовых отключений представляет собой сумму  $n_{\text{Г}} = n_{\text{оп}} + n_{\text{тр}} + n_{\text{пр}}$ , для ВЛ без тросовой защиты представляет сумму  $n_{\text{Г}} = n_{\text{оп}} + n_{\text{пр}}$ ;
- 4) удельное число прямых ударов молнии в ВЛ с тросовой защитой составляет  $N = 74$  уд/(100 км·100 гр.ч), без тросовой защиты –  $N = 64$  уд/(100 км·100 гр.ч);
- 5) расчетная длина пролета  $\Delta l_{\text{прол}} = 250$  м.

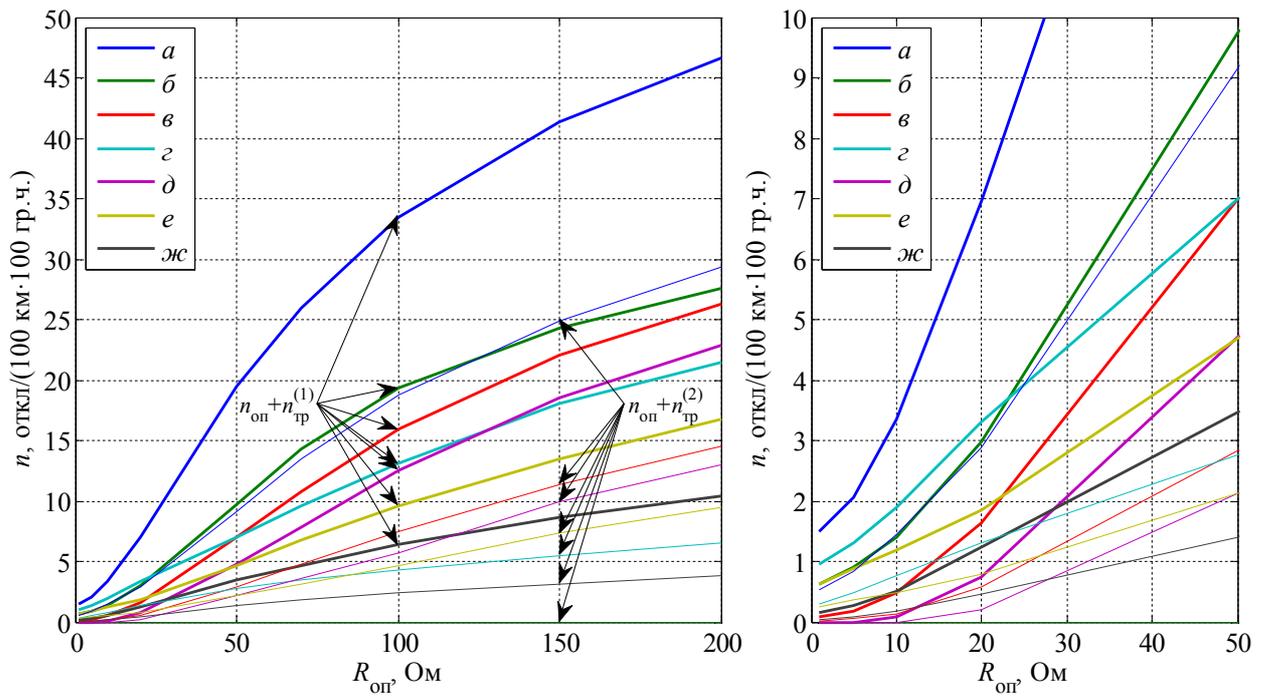


Рисунок А.17 Удельные числа грозвых отключений одноцепной ВЛ 110 кВ на опорах ПБ110-2 с тросовой защитой при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.17 Удельные числа грозвых отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 110 кВ на опорах ПБ110-2 с тросовой защитой

Вариант защиты	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	<i>е</i>	<i>жс</i>			
Число ЗА на опору	0	3			4					
Схема расстановки ЗА										
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору										
$R_{оп}, Ом$	1	5	10	20	50	70	100	150	200	
$n_{г}, откл./100 км·100 гр.ч) с тросовой защитой$										
$n_{г}^{(1)}$	<i>a</i>	2,34	2,92	4,21	7,79	20,2	26,7	34,2	42,0	47,2
	<i>б</i>	0,894	1,18	1,67	3,25	10,0	14,6	19,7	24,6	28,0
	<i>в</i>	0,077	0,186	0,475	1,64	7,02	10,8	16,0	22,2	26,4
	<i>г</i>	1,39	1,73	2,32	3,74	7,44	10,0	13,5	18,5	21,9
	<i>д</i>	0	0	0,075	0,751	4,74	7,89	12,6	18,6	23,0
	<i>е</i>	1,2	1,46	1,76	2,42	5,27	7,29	10,2	14,1	17,3
	<i>жс</i>	0,144	0,276	0,513	1,25	3,48	4,70	6,37	8,68	10,5
$n_{г}^{(2)}$	<i>a</i>	0,524	0,83	1,45	2,88	9,13	13,4	18,7	24,8	29,2
	<i>б</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>в</i>	0,0187	0,0492	0,124	0,571	2,83	4,82	7,47	11,4	14,6
	<i>г</i>	0,296	0,475	0,760	1,30	2,76	3,46	4,34	5,53	6,54
	<i>д</i>	0	0	0	0,193	2,13	3,61	5,75	9,96	13,0
	<i>е</i>	0,239	0,356	0,478	0,802	2,14	3,20	4,72	7,41	9,54
	<i>жс</i>	0,038	0,072	0,172	0,458	1,41	1,88	2,43	3,18	3,81

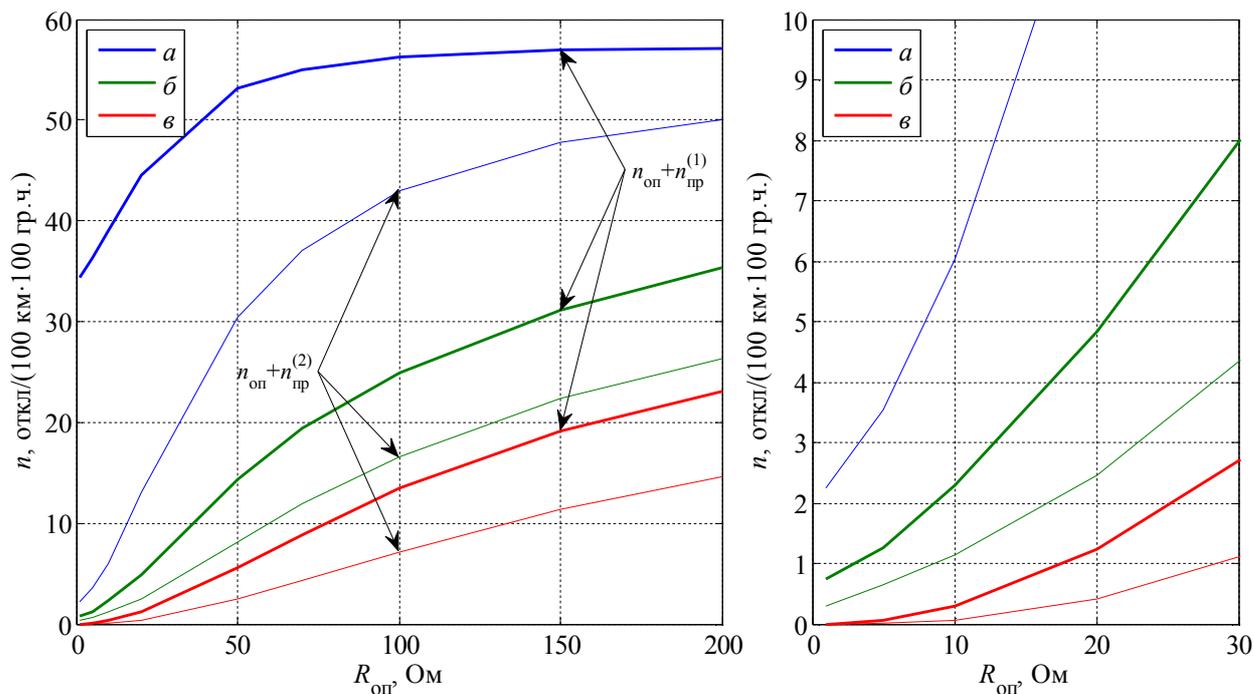


Рисунок А.18 Удельные числа грозных отключений одноцепной ВЛ 110 кВ на опорах ПБ110-2 без тросовой защиты при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.18 Удельные числа грозных отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 110 кВ на опорах ПБ110-2 без тросовой защиты

Вариант защиты	а			б			в			
Число ЗА на опору	0			2			4			
Схема расстановки ЗА										
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору										
$R_{оп}, Ом$	1	5	10	20	50	70	100	150	200	
$n_{г}, откл./((100 км·100 гр.ч) без тросовой защиты)$										
$n_{г}^{(1)}$	а	34,3	36,3	39,0	44,5	53,1	55,0	56,2	56,9	57,0
	б	0,746	1,26	2,28	4,83	14,3	19,4	24,9	31,1	35,3
	в	0	0,057	0,286	1,25	5,62	8,77	13,5	19,1	23,0
$n_{г}^{(2)}$	а	2,26	3,55	6,04	13,0	30,5	37,0	43,0	47,8	50,1
	б	0,303	0,658	1,14	2,46	8,13	11,9	16,5	22,3	26,3
	в	0	0,0057	0,069	0,40	2,52	4,37	7,13	11,4	14,6

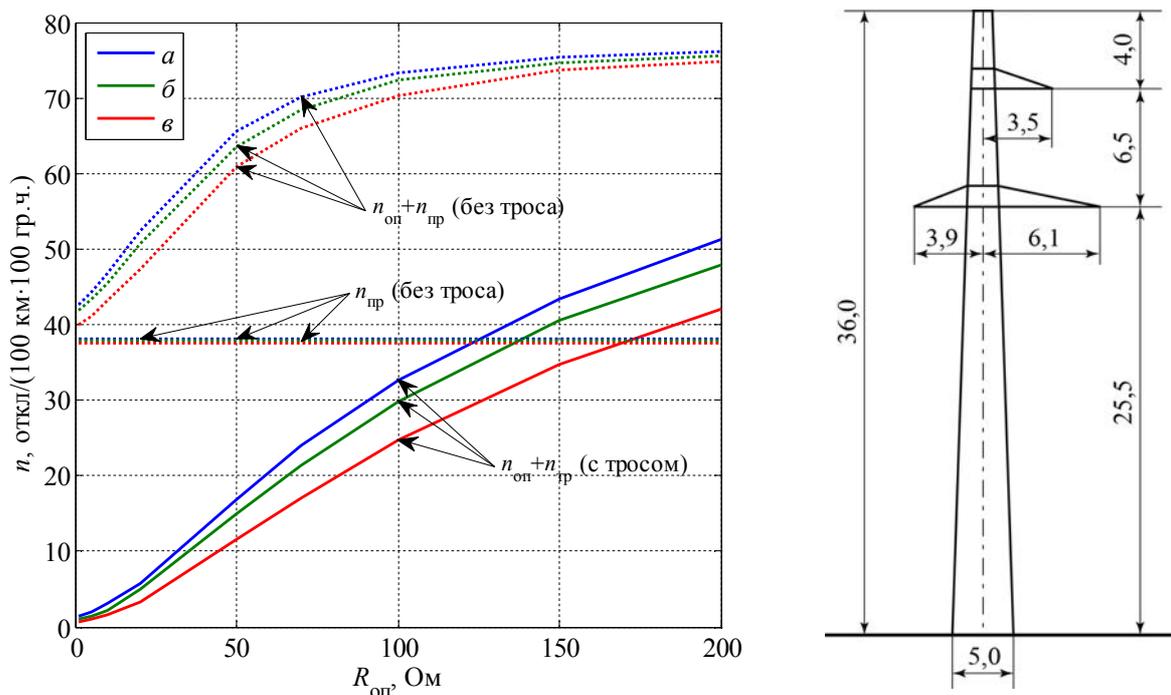


Рисунок А.19 Удельные числа грозвых отключений одноцепной ВЛ 220 кВ на опорах П220-3 при различных уровнях линейной изоляции  
 а)  $l_{\text{разр}} = 1,78$  м; б)  $l_{\text{разр}} = 1,91$  м; в)  $l_{\text{разр}} = 2,16$  м

Таблица А.19 Удельные числа грозвых отключений ВЛ 220 кВ на опорах П220-3

$R_{\text{оп}}, \text{ Ом}$	1	5	10	20	50	70	100	150	200
$n_{\text{г}}, \text{ откл./}(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ с тросовой защитой}$									
<i>a</i>	2,36	3,06	4,08	6,69	17,8	25,0	33,7	44,4	52,4
<i>б</i>	1,80	2,28	3,07	5,86	15,9	22,2	30,7	41,4	48,8
<i>в</i>	1,34	1,75	2,22	3,93	12,1	17,6	25,4	35,3	42,8
$n_{\text{г}}, \text{ откл./}(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ без тросовой защиты}$									
<i>a</i>	42,6	44,2	46,7	52,4	65,6	70,1	73,3	75,4	76,1
<i>б</i>	41,9	43,4	45,5	50,7	63,6	68,5	72,3	74,7	75,6
<i>в</i>	39,9	41,2	43,2	47,4	60,8	66,1	70,4	73,7	74,8

**Примечания.**

- 1) для ВЛ с тросовой защитой удельное число грозвых отключений представляет собой сумму  $n_{\text{г}} = n_{\text{оп}} + n_{\text{тр}} + n_{\text{пр}}$ , для ВЛ без тросовой защиты представляет сумму  $n_{\text{г}} = n_{\text{оп}} + n_{\text{пр}}$ ;
- 2) расчетное удельное число прямых ударов молнии в ВЛ с тросовой защитой  $N = 92 \text{ уд./}(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч})$ , без тросовой защиты –  $N = 85 \text{ уд./}(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч})$ ;
- 3) расчетная длина пролета  $\Delta l_{\text{прол}} = 300 \text{ м}$ .

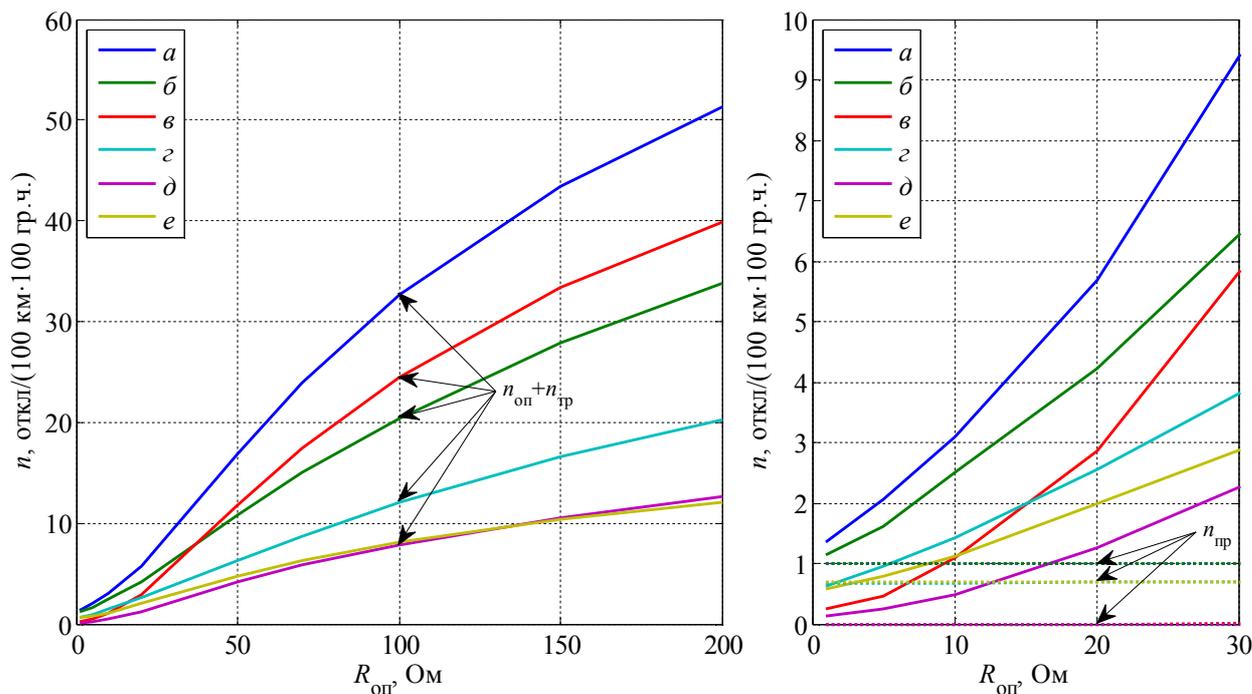


Рисунок А.20 Удельные числа грозных отключений одноцепной ВЛ 220 кВ на опорах П220-3 с тросовой защитой при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.20 Удельные числа грозных отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 220 кВ на опорах П220-3 с тросовой защитой

Вариант схемы	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	<i>e</i>			
Число ЗА на опору	0	1		1,5	2				
Схема расстановки ЗА									
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору									
$R_{оп}, \text{ Ом}$	1	5	10	20	50	70	100	150	200
$n_{г}, \text{ откл}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ с тросовой защитой}$									
<i>a</i>	2,36	3,06	4,08	6,69	17,8	25,0	33,7	44,4	52,4
<i>б</i>	2,13	2,62	3,49	5,21	11,9	16,1	21,4	28,9	34,8
<i>в</i>	0,237	0,457	1,09	2,86	11,8	17,6	24,6	33,5	40,1
<i>г</i>	1,31	1,63	2,11	3,23	7,00	9,40	12,8	17,2	20,8
<i>д</i>	0,135	0,238	0,47	1,26	4,23	5,92	7,82	10,5	12,7
<i>e</i>	1,26	1,47	1,82	2,68	5,36	6,97	8,78	11,0	12,7

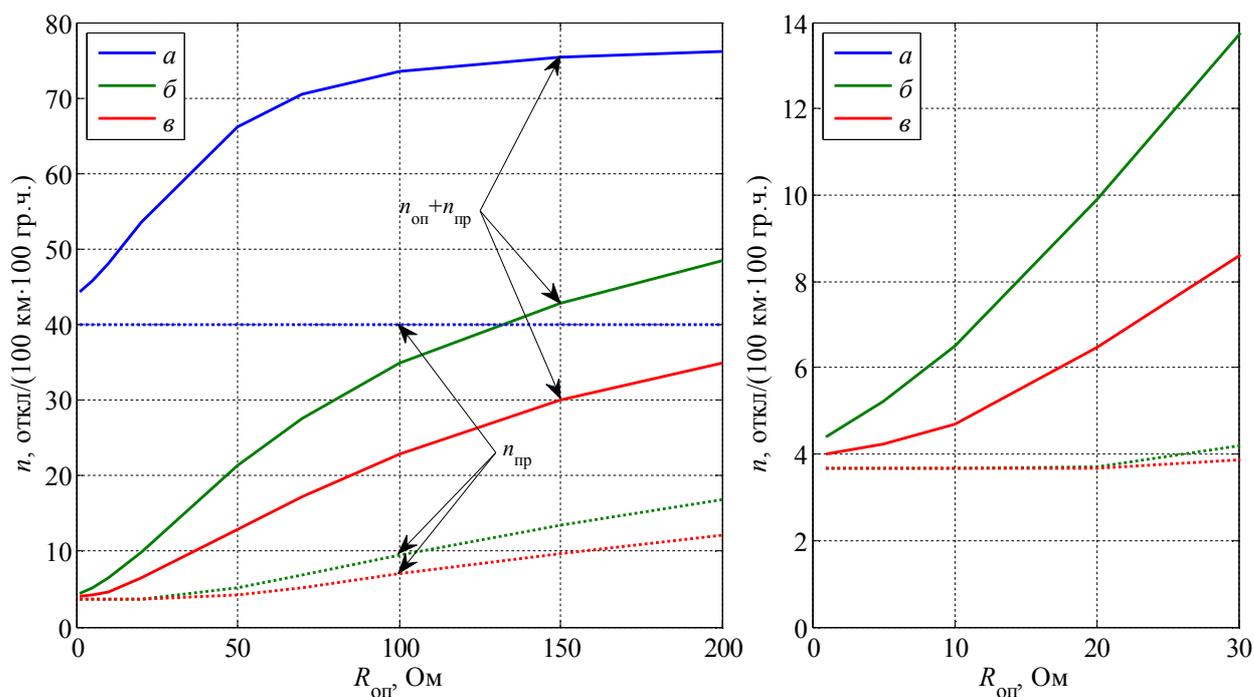


Рисунок А.21 – Удельные числа грозвых отключений одноцепной ВЛ 220 кВ на опорах П220-3 без тросовой защиты при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.21 Удельные числа грозвых отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 220 на опорах П220-3 кВ без тросовой защиты

Вариант защиты	<i>a</i>		<i>б</i>		<i>в</i>				
Число ЗА на опору	0		1		2				
Схема расстановки ЗА									
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору									
$R_{оп}, \text{ Ом}$	1	5	10	20	50	70	100	150	200
$n_{г}, \text{ откл}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ без тросовой защиты}$									
<i>a</i>	42,6	44,2	46,7	52,4	65,6	70,1	73,3	75,4	76,1
<i>б</i>	4,41	5,23	6,51	9,89	21,4	27,7	35,0	42,8	48,4
<i>в</i>	4,00	4,23	4,70	6,46	12,9	17,2	22,8	30,1	35,0

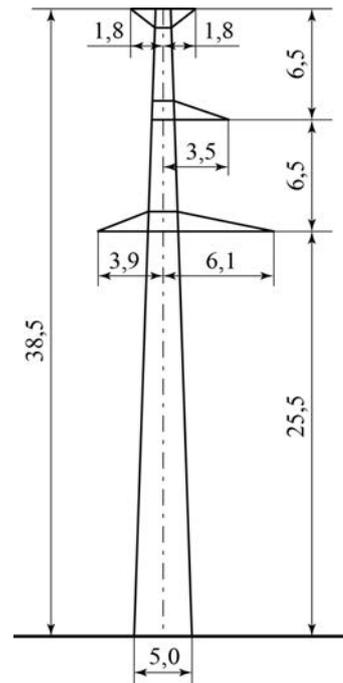
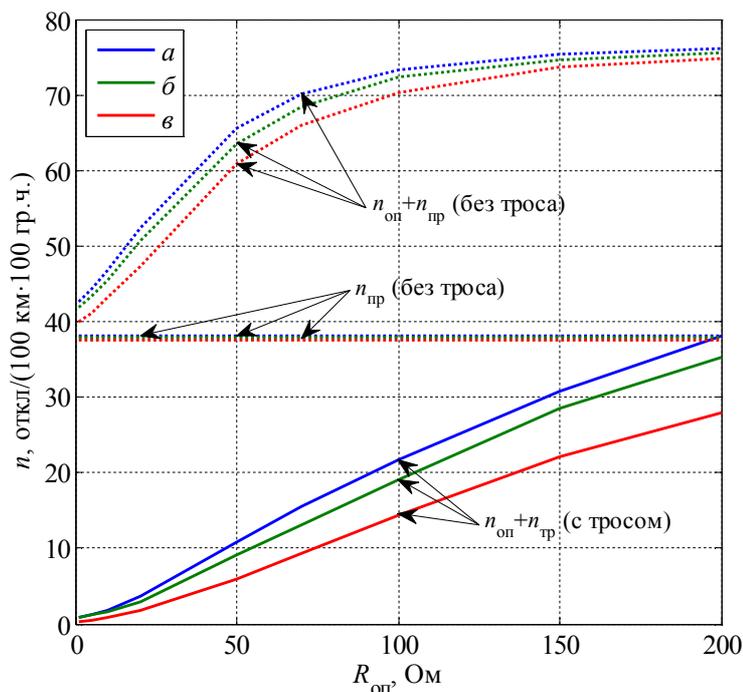


Рисунок А.22 Удельные числа грозных отключений одноцепной ВЛ 220 кВ на опорах П220-3Т при различных уровнях линейной изоляции  
 а)  $l_{\text{разр}} = 1,78$  м; б)  $l_{\text{разр}} = 1,91$  м; в)  $l_{\text{разр}} = 2,16$  м

Таблица А.22 Удельные числа грозных отключений ВЛ 220 кВ на опорах П220-3т

$R_{\text{оп}}, \text{ Ом}$	1	5	10	20	50	70	100	150	200
$n_{\text{г}}, \text{ уд./}(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ с тросовой защитой}$									
<i>a</i>	1,10	1,42	1,91	3,75	10,9	15,7	21,9	31,0	38,4
<i>б</i>	0,928	1,31	1,81	3,03	9,21	13,3	19,3	28,7	35,4
<i>в</i>	0,499	0,701	0,974	1,92	6,15	9,50	14,6	22,2	28,2
$n_{\text{г}}, \text{ уд./}(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ без тросовой защиты}$									
<i>a</i>	42,6	44,2	46,7	52,4	65,6	70,1	73,3	75,4	76,1
<i>б</i>	41,9	43,4	45,5	50,7	63,6	68,5	72,3	74,7	75,6
<i>в</i>	40,0	41,2	43,2	47,4	60,8	66,1	70,4	73,7	74,8

**Примечания.**

- 1) для ВЛ с тросовой защитой удельное число грозных отключений представляет собой сумму  $n_{\text{г}} = n_{\text{оп}} + n_{\text{тр}} + n_{\text{пр}}$ , для ВЛ без тросовой защиты представляет сумму  $n_{\text{г}} = n_{\text{оп}} + n_{\text{пр}}$ ;
- 2) расчетное удельное число прямых ударов молнии в ВЛ с тросовой защитой  $N = 96$  уд./ $(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч})$ , без тросовой защиты –  $N = 85$  уд./ $(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч})$ ;
- 3) расчетная длина пролета  $\Delta l_{\text{прол}} = 300$  м.

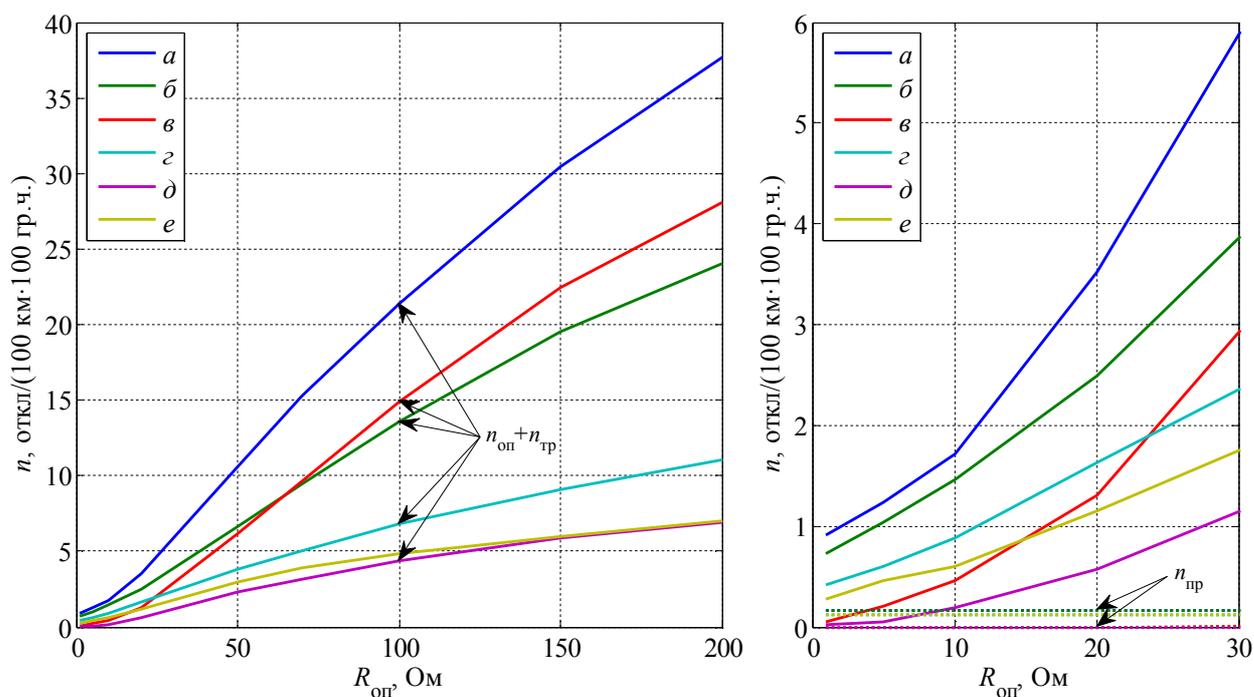


Рисунок А.23 Удельные числа грозвых отключений одноцепной ВЛ 220 кВ на опорах П220-3Т с тросовой защитой при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.23 Удельные числа грозвых отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 220 кВ на опорах П220-3Т с тросовой защитой

Вариант схемы	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	<i>e</i>			
Число ЗА на опору	0	1		1,5	2				
Схема расстановки ЗА									
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору									
$R_{оп}, \text{ Ом}$	1	5	10	20	50	70	100	150	200
$n_{г}, \text{ откл}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ с тросовой защитой}$									
<i>a</i>	1,10	1,42	1,91	3,75	10,9	15,7	21,9	31,0	38,4
<i>б</i>	0,890	1,20	1,63	2,66	6,77	9,59	13,7	19,7	24,2
<i>в</i>	0,043	0,20	0,452	1,31	6,17	9,69	14,9	22,5	28,2
<i>г</i>	0,528	0,715	0,997	1,74	3,93	5,15	6,89	9,22	11,2
<i>д</i>	0,021	0,052	0,186	0,574	2,29	3,18	4,37	5,91	6,95
<i>e</i>	0,390	0,582	0,721	1,27	3,07	3,98	4,94	6,11	7,12

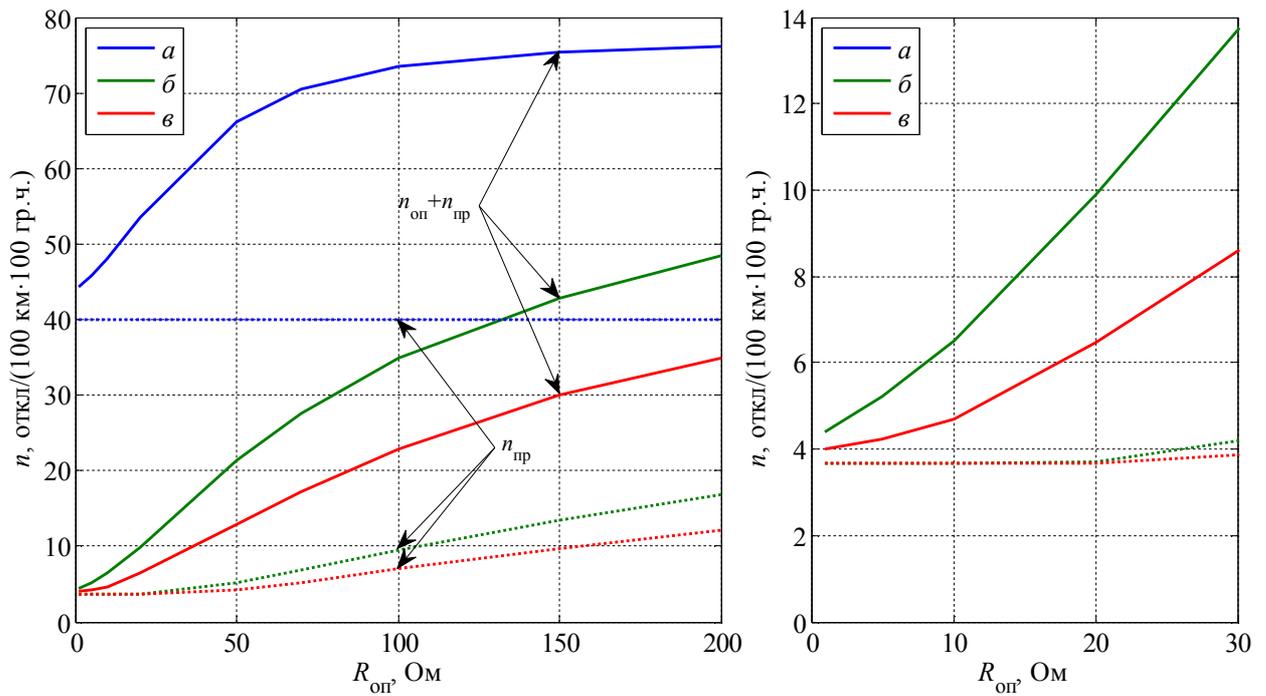


Рисунок А.24 Удельные числа грозных отключений одноцепной ВЛ 220 кВ на опорах П220-3Т без тросовой защиты при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.24 Удельные числа грозных отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 220 кВ на опорах П220-3т без тросовой защиты

Вариант защиты	<i>a</i>		<i>б</i>		<i>в</i>				
Число ЗА на опору	0		1		2				
Схема расстановки ЗА									
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору									
$R_{оп}, \text{ Ом}$	1	5	10	20	50	70	100	150	200
$n_{г}, \text{ откл}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ без тросовой защиты}$									
<i>a</i>	42,6	44,2	46,7	52,4	65,6	70,1	73,3	75,4	76,1
<i>б</i>	4,41	5,23	6,51	9,89	21,4	27,7	35,0	42,8	48,4
<i>в</i>	4,00	4,23	4,70	6,46	12,9	17,2	22,8	30,1	35,0

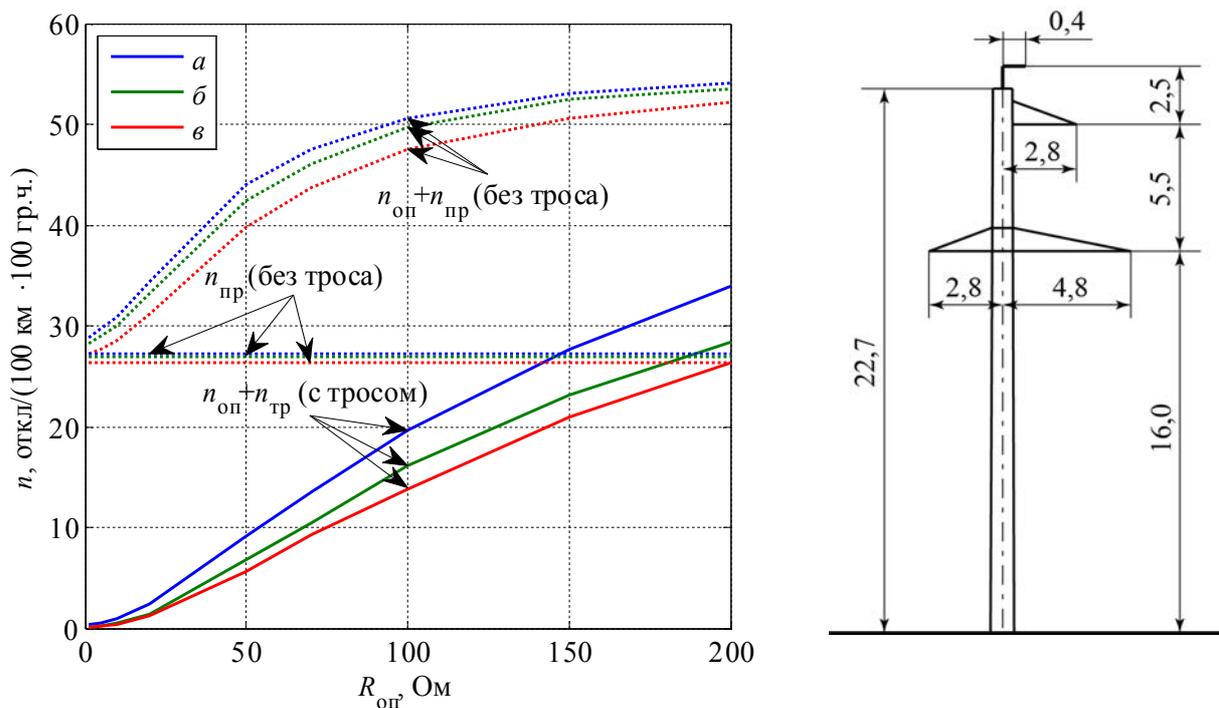


Рисунок А.25 Удельные числа грозовых отключений одноцепной ВЛ 220 кВ на опорах ПБ220-1 при различных уровнях линейной изоляции  
 а)  $l_{\text{разр}} = 1,78$  м; б)  $l_{\text{разр}} = 1,91$  м; в)  $l_{\text{разр}} = 2,16$  м

Таблица А.25 Удельные числа грозовых отключений ВЛ 220 кВ на опорах ПБ220-1

$R_{\text{оп}}, \text{ Ом}$	1	5	10	20	50	70	100	150	200
$n_{\text{г}}, \text{ откл}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ с тросовой защитой}$									
<i>a</i>	0,807	1,03	1,48	2,94	9,58	14,0	20,1	28,2	34,4
<i>б</i>	0,530	0,621	0,870	1,81	7,22	10,8	16,5	23,5	28,8
<i>в</i>	0,371	0,467	0,698	1,58	5,96	9,55	14,1	21,2	26,7
$n_{\text{г}}, \text{ откл}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ без тросовой защиты}$									
<i>a</i>	28,8	29,6	30,9	34,4	44,1	47,5	50,6	53,1	54,1
<i>б</i>	28,2	28,9	30,0	33,2	42,4	46,1	49,7	52,5	53,5
<i>в</i>	27,2	27,7	28,6	31,2	39,9	43,8	47,6	50,6	52,1

**Примечания.**

- 1) для ВЛ с тросовой защитой удельное число грозовых отключений представляет собой сумму  $n_{\text{г}} = n_{\text{оп}} + n_{\text{тр}} + n_{\text{пр}}$ , для ВЛ без тросовой защиты представляет сумму  $n_{\text{г}} = n_{\text{оп}} + n_{\text{пр}}$ ;
- 2) расчетное удельное число прямых ударов молнии в ВЛ с тросовой защитой  $N = 76 \text{ уд}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч})$ , без тросовой защиты –  $N = 63 \text{ уд}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч})$ ;
- 3) расчетная длина пролета  $\Delta l_{\text{прол}} = 300 \text{ м}$ .

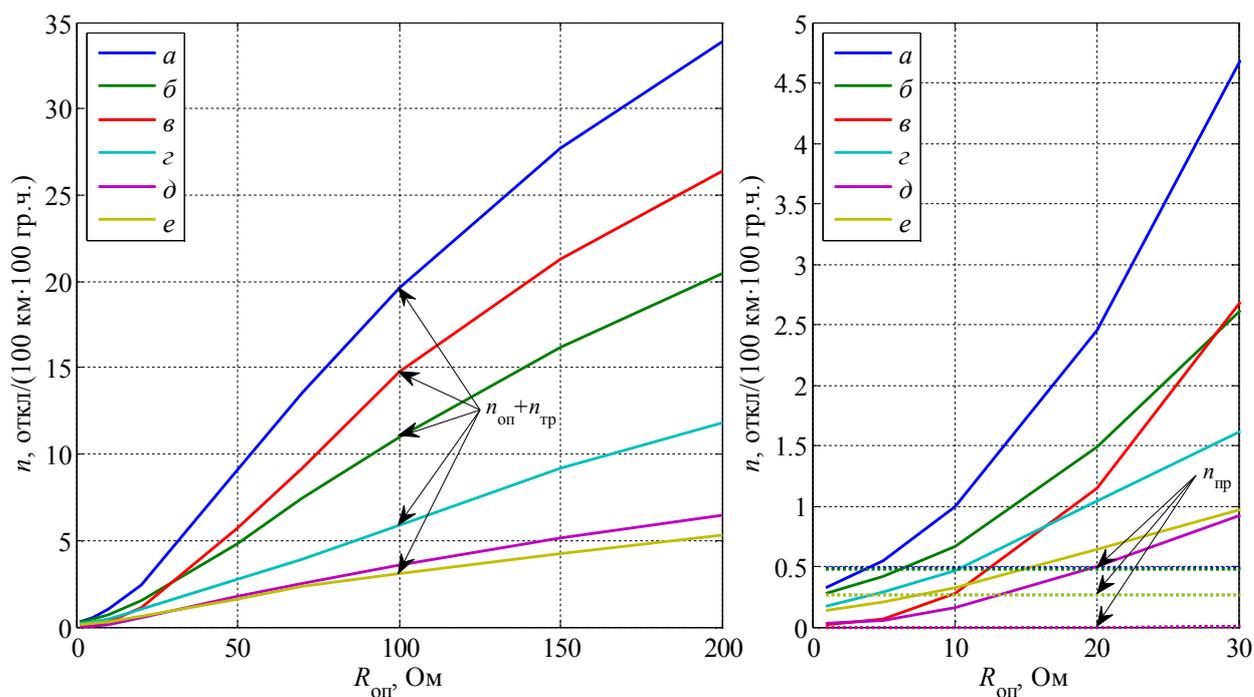


Рисунок А.26 Удельные числа грозных отключений одноцепной ВЛ 220 кВ на опорах ПБ220-1 с тросовой защитой при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.26 Удельные числа грозных отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 220 кВ на опорах ПБ220-1 с тросовой защитой

Вариант схемы	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	<i>e</i>			
Число ЗА на опору	0	1		1,5	2				
Схема расстановки ЗА									
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору									
$R_{оп}, \text{ Ом}$	1	5	10	20	50	70	100	150	200
$n_{г}, \text{ откл}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ с тросовой защитой}$									
<i>a</i>	0,807	1,03	1,48	2,94	9,58	14,0	20,1	28,2	34,4
<i>б</i>	0,744	0,895	1,14	1,96	5,32	7,91	11,5	16,7	20,9
<i>в</i>	0,013	0,070	0,274	1,15	5,72	9,17	14,8	21,4	26,5
<i>г</i>	0,443	0,559	0,739	1,31	3,04	4,20	6,13	9,40	12,1
<i>д</i>	0,0342	0,056	0,159	0,505	1,76	2,50	3,61	5,18	6,50
<i>e</i>	0,406	0,474	0,586	0,913	1,89	2,59	3,32	4,47	5,54

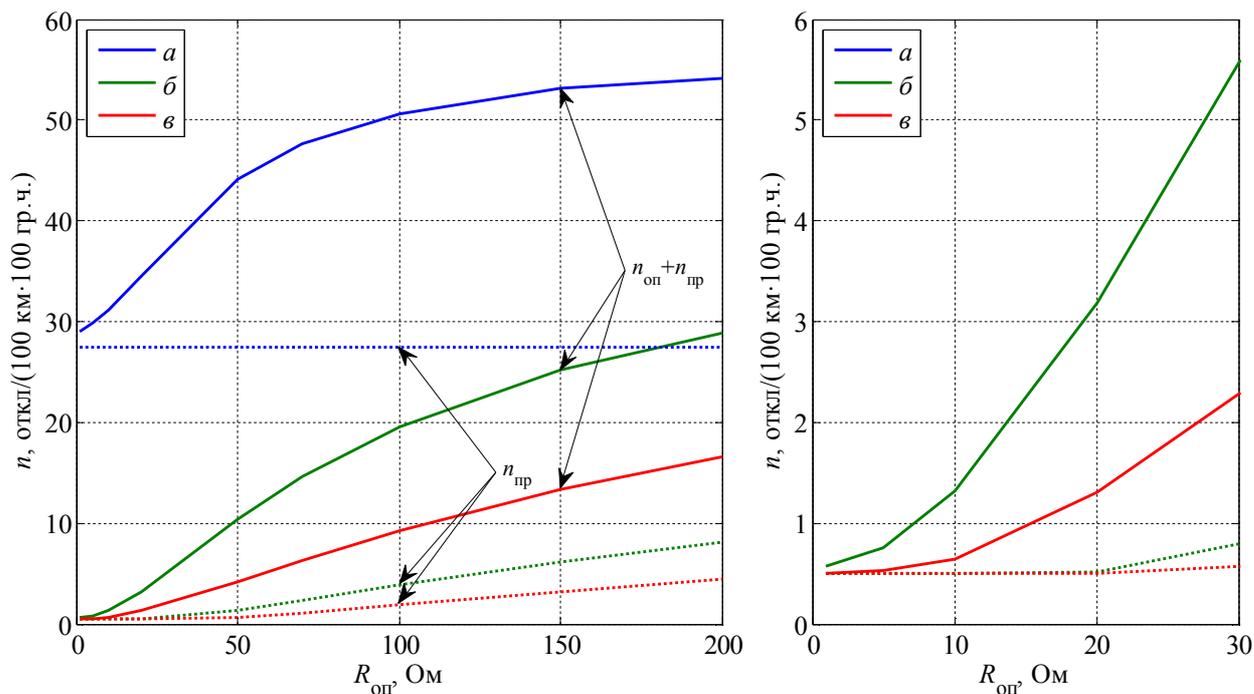


Рисунок А.27 Удельные числа грозных отключений одноцепной ВЛ 220 кВ на опорах ПБ220-1 без тросовой защиты при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.27 Удельные числа грозных отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 220 кВ на опорах ПБ220-1 без тросовой защиты

Вариант защиты	<i>a</i>		<i>б</i>		<i>в</i>				
Число ЗА на опору	0		1		2				
Схема расстановки ЗА									
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору									
$R_{оп}, Ом$	1	5	10	20	50	70	100	150	200
$n_{г}, откл./100 км \cdot 100 гр.ч$ без тросовой защиты									
<i>a</i>	28,8	29,6	30,9	34,4	44,1	47,5	50,6	53,1	54,1
<i>б</i>	0,578	0,751	1,31	3,19	10,4	14,6	19,6	25,1	28,9
<i>в</i>	0,503	0,525	0,642	1,31	4,23	6,35	9,23	13,4	16,5

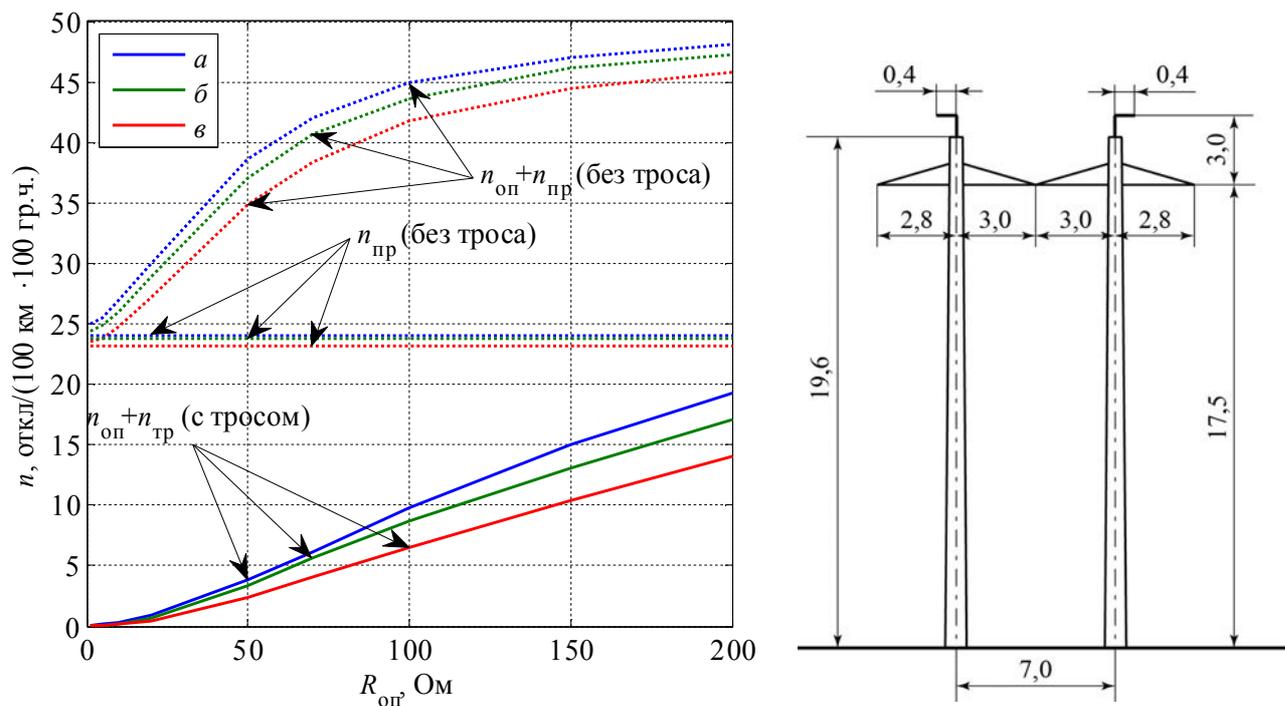


Рисунок А.28 Удельные числа грозвых отключений одноцепной ВЛ 220 кВ на опорах ПСБ220-1 при различных уровнях линейной изоляции  
 а)  $l_{\text{разр}} = 1,78$  м; б)  $l_{\text{разр}} = 1,91$  м; в)  $l_{\text{разр}} = 2,16$  м

Таблица А.28 Удельные числа грозвых отключений ВЛ 220 кВ на опорах ПСБ220-1

$R_{\text{оп}}, \text{ Ом}$	1	5	10	20	50	70	100	150	200
$n_{\text{г}}, \text{ откл.}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ с тросовой защитой}$									
<i>a</i>	0,910	0,997	1,14	1,75	4,69	7,03	10,7	15,8	20,2
<i>б</i>	0,684	0,745	0,871	1,30	4,04	6,29	9,41	13,7	17,7
<i>в</i>	0,439	0,475	0,578	0,898	2,79	4,54	6,88	10,8	14,5
$n_{\text{г}}, \text{ откл.}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ без тросовой защиты}$									
<i>a</i>	25,0	25,5	26,9	30,0	38,6	42,0	44,9	47,0	48,1
<i>б</i>	24,4	24,9	26,0	28,8	37,1	40,7	43,6	46,1	47,3
<i>в</i>	23,5	23,8	24,7	27,2	34,9	38,3	41,7	44,5	45,8

Примечания.

- 1) для ВЛ с тросовой защитой удельное число грозвых отключений представляет собой сумму  $n_{\text{г}} = n_{\text{оп}} + n_{\text{тр}} + n_{\text{пр}}$ , для ВЛ без тросовой защиты представляет сумму  $n_{\text{г}} = n_{\text{оп}} + n_{\text{пр}}$ ;
- 2) расчетное удельное число прямых ударов молнии в ВЛ с тросовой защитой  $N = 69$  уд/(100 км · 100 гр.ч), без тросовой защиты –  $N = 56$  уд/(100 км · 100 гр.ч);
- 3) расчетная длина пролета  $\Delta l_{\text{прол}} = 300$  м.

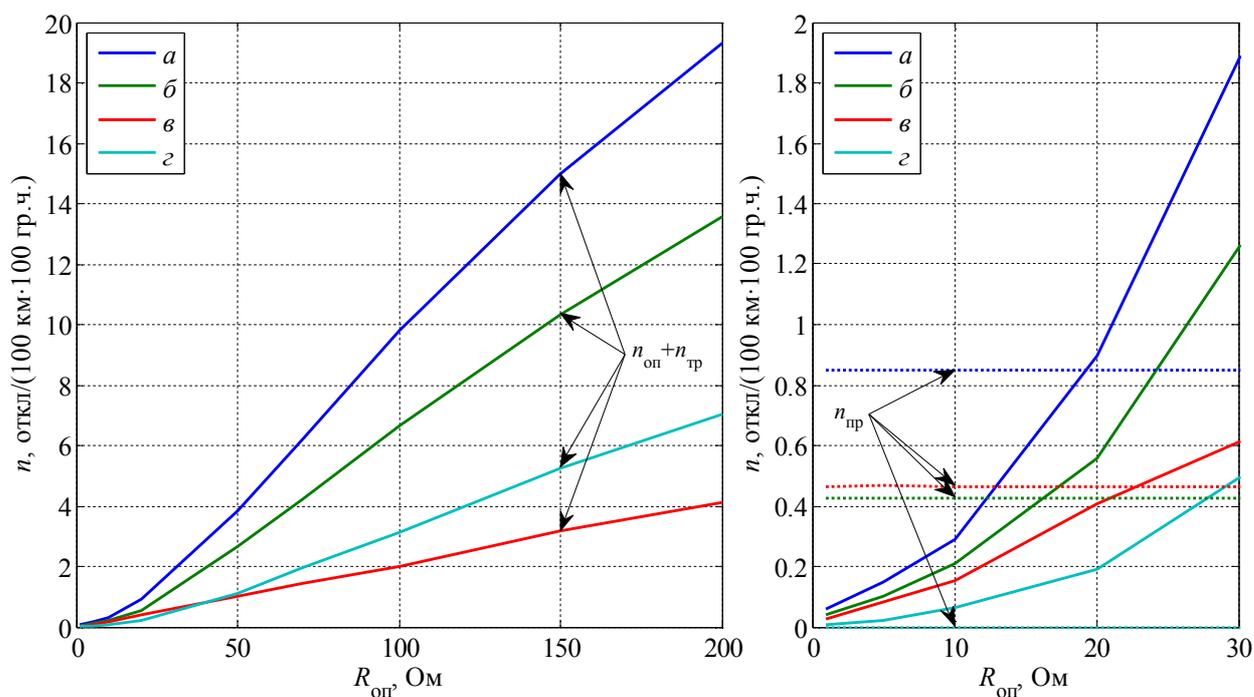


Рисунок А.29 Удельные числа грозовых отключений одноцепной ВЛ 220 кВ на опорах ПСБ220-1 с тросовой защитой при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.29 Удельные числа грозовых отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 220 кВ на опорах ПСБ220-1 с тросовой защитой

Вариант защиты	а		б		в		з		
Число ЗА на опору	0		1		1,5		2		
Схема расстановки ЗА									
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору									
$R_{оп}, \text{ Ом}$	1	5	10	20	50	70	100	150	200
$n_{г}, \text{ откл}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ с тросовой защитой}$									
а	0,910	0,997	1,14	1,75	4,69	7,03	10,7	15,8	20,2
б	0,468	0,526	0,635	0,984	3,08	4,65	7,10	10,8	14,1
в	0,493	0,546	0,620	0,871	1,49	1,89	2,45	3,59	4,56
з	0,00641	0,022	0,0641	0,192	1,10	1,94	3,14	5,29	7,08

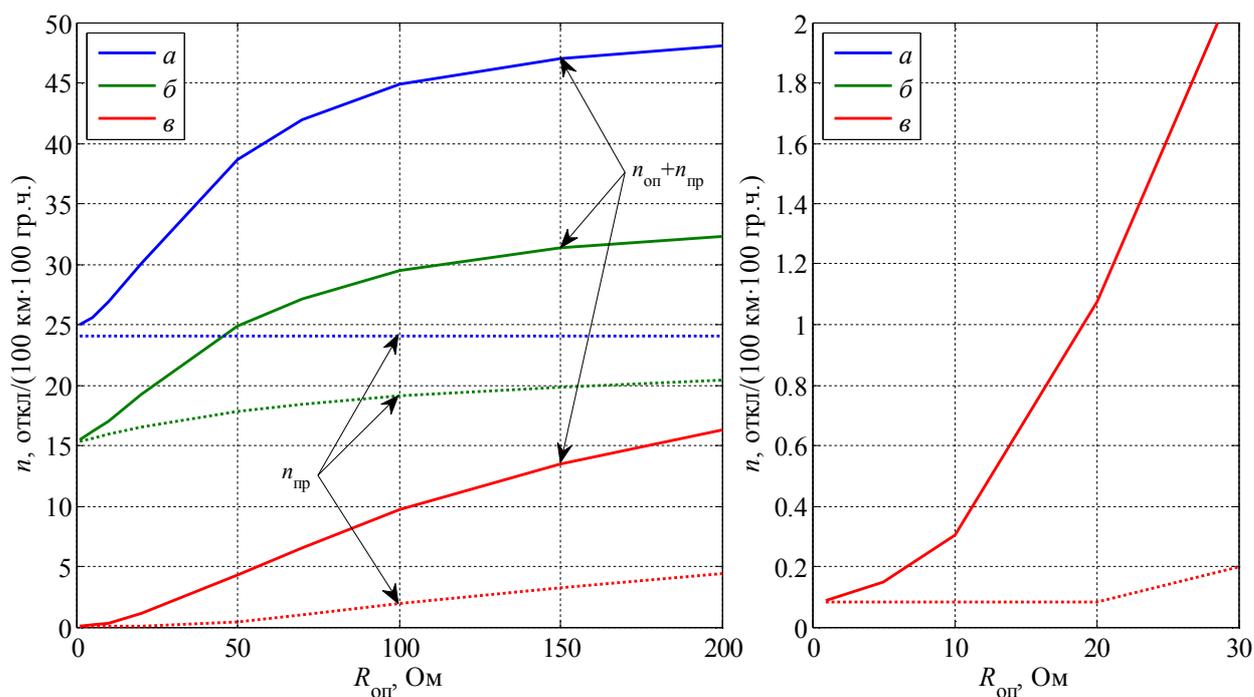


Рисунок А.30 Удельные числа грозных отключений одноцепной ВЛ 220 кВ на опорах ПСБ220-1 без тросовой защиты при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.30 Удельные числа грозных отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 220 кВ на опорах ПСБ220-1 без тросовой защиты

Вариант защиты	<i>a</i>		<i>б</i>		<i>в</i>				
Число ЗА на опору	0		1,5		2				
Схема расстановки ЗА									
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ● – ЗА установлен через опору									
$R_{оп}, Ом$	1	5	10	20	50	70	100	150	200
$n_{г}, откл./100 км·100 гр.ч) без тросовой защиты$									
<i>a</i>	25,0	25,5	26,9	30,0	38,6	42,0	44,9	47,0	48,1
<i>б</i>	15,5	16,1	17,0	19,3	24,9	27,2	29,4	31,3	32,3
<i>в</i>	0,088	0,148	0,304	1,08	4,34	6,57	9,69	13,5	16,3

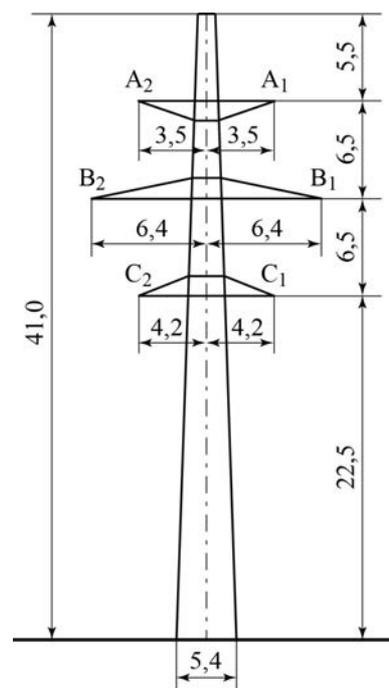
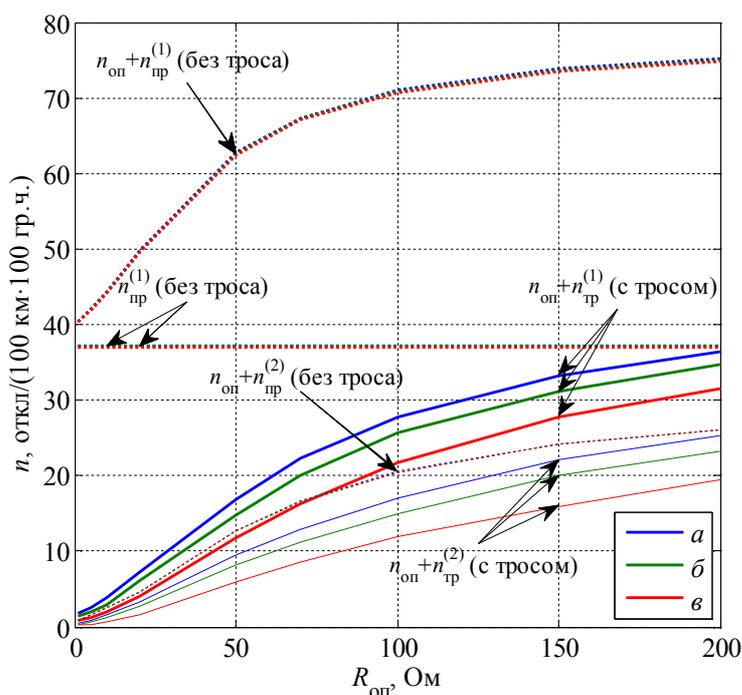


Рисунок А.31 Удельные числа грозвых отключений двухцепной ВЛ 220 кВ на опорах П220-2 при различных уровнях линейной изоляции  
 а)  $l_{разр} = 1,78$  м; б)  $l_{разр} = 1,91$  м; в)  $l_{разр} = 2,16$  м

Таблица А.31 Удельные числа грозвых отключений ВЛ 110 кВ на опорах П220-2

$R_{оп}$ , Ом	1	5	10	20	50	70	100	150	200	
$n_{г}$ , откл./100 км·100 гр.ч с тросовой защитой										
$n_{г}^{(1)}$	а	2,20	3,01	4,36	7,81	17,4	22,7	28,2	33,7	37,0
	б	1,80	2,47	3,38	6,49	15,2	20,5	26,1	31,6	35,2
	в	1,12	1,58	2,41	4,46	12,1	16,6	22,2	28,2	31,8
$n_{г}^{(2)}$	а	0,499	0,922	1,61	3,33	9,52	12,9	17,1	22,1	25,3
	б	0,358	0,593	1,17	2,73	8,10	11,2	14,9	20,0	23,2
	в	0,207	0,330	0,659	1,66	5,95	8,49	11,9	15,9	19,4
$n_{г}$ , откл./100 км·100 гр.ч без тросовой защиты										
$n_{г}^{(1)}$	а	40,5	42,0	44,4	49,7	62,7	67,3	71,0	73,9	75,2
	б	40,4	42,0	44,3	49,7	62,6	67,3	70,9	73,7	75,1
	в	40,3	41,9	44,2	49,5	62,5	67,1	70,7	73,5	74,9
$n_{г}^{(2)}$	а	0,891	1,55	2,53	4,65	12,7	16,6	20,5	24,2	26,1
	б	0,889	1,55	2,53	4,65	12,7	16,6	20,5	24,2	26,1
	в	0,887	1,55	2,52	4,64	12,6	16,5	20,4	24,1	26,0

**Примечания.**

- 1) сплошными линиями на рисунке показаны составляющие удельных чисел грозвых отключений для ВЛ с тросовой защитой, штриховыми линиями – для ВЛ без тросовой защиты;
- 2) жирными линиями на рисунке показаны составляющие удельных грозвых одноцепных отключений  $n_{г}^{(1)}$ , тонкими линиями – двухцепных отключений  $n_{г}^{(2)}$ ;
- 3) для ВЛ с тросовой защитой удельное число грозвых отключений представляет собой сумму  $n_{г} = n_{оп} + n_{тр} + n_{пр}$ , для ВЛ без тросовой защиты представляет сумму  $n_{г} = n_{оп} + n_{пр}$ ;
- 4) удельное число прямых ударов молнии в ВЛ с тросовой защитой составляет  $N = 96$  уд/(100 км·100 гр.ч), без тросовой защиты –  $N = 93$  уд/(100 км·100 гр.ч);
- 5) расчетная длина пролета  $\Delta l_{прол} = 300$  м.

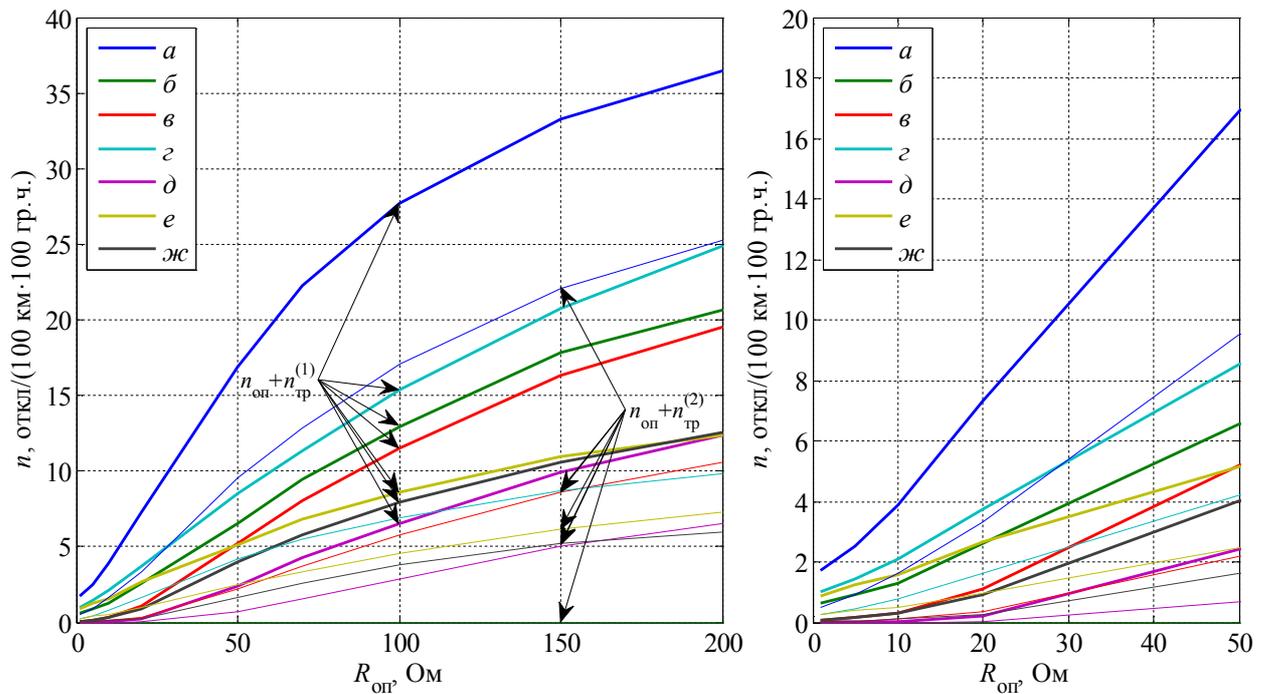


Рисунок А.32 Удельные числа грозовых отключений одноцепной ВЛ 220 кВ на опорах П220-2 с тросовой защитой при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.32 Удельные числа грозовых отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 220 кВ на опорах П220-2 с тросовой защитой

Вариант защиты	<i>а</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	<i>е</i>	<i>жс</i>			
Число ЗА на опору	0	3			4					
Схема расстановки ЗА										
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору										
$R_{оп}, Ом$	1	5	10	20	50	70	100	150	200	
$n_{г}, откл./100 км·100 гр.ч с тросовой защитой$										
$n_{г}^{(1)}$	<i>а</i>	2,20	3,01	4,36	7,81	17,4	22,7	28,2	33,7	37,0
	<i>б</i>	0,658	0,912	1,31	2,61	6,55	9,43	13,0	17,8	20,7
	<i>в</i>	0,062	0,149	0,311	1,13	5,23	8,07	11,6	16,5	19,7
	<i>г</i>	1,37	1,81	2,45	4,12	8,91	11,7	15,8	21,1	25,2
	<i>д</i>	0,025	0,025	0,033	0,202	2,44	4,32	6,6	10,0	12,4
	<i>е</i>	1,25	1,62	1,96	3,03	5,53	7,16	9,0	11,3	12,8
	<i>жс</i>	0,064	0,158	0,290	0,895	4,03	5,78	7,9	10,6	12,6
$n_{г}^{(2)}$	<i>а</i>	0,499	0,922	1,61	3,33	9,52	12,9	17,1	22,1	25,3
	<i>б</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>в</i>	0,014	0,033	0,113	0,367	2,18	3,75	5,79	8,61	10,6
	<i>г</i>	0,259	0,437	0,795	1,62	4,21	5,52	6,94	8,67	9,81
	<i>д</i>	0	0	0	0,019	0,668	1,52	2,92	5,07	6,58
	<i>е</i>	0,273	0,386	0,480	0,959	2,46	3,31	4,59	6,12	7,34
	<i>жс</i>	0,014	0,038	0,132	0,282	1,63	2,61	3,84	5,18	6,00

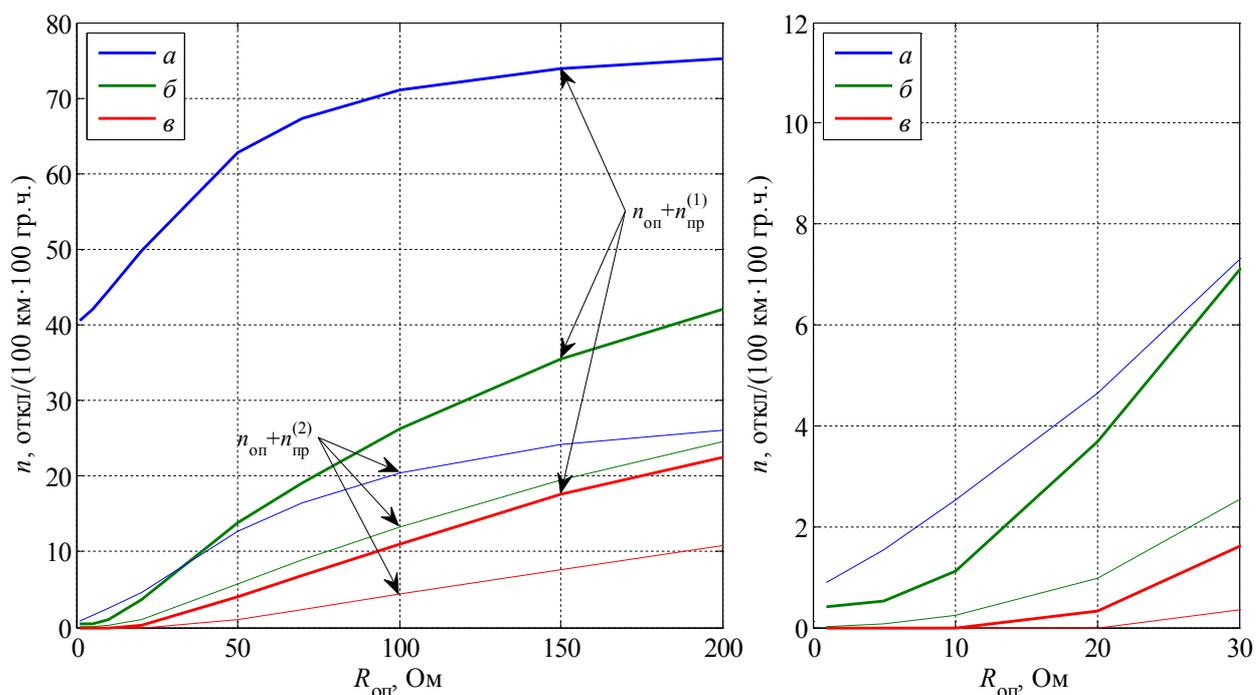


Рисунок А.33 Удельные числа грозвых отключений одноцепной ВЛ 220 кВ на опорах П220-2 без тросовой защиты при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.33 Удельные числа грозвых отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 220 кВ на опорах П220-2 без тросовой защиты

Вариант защиты	<i>a</i>		<i>б</i>		<i>в</i>					
Число ЗА на опору	0		2		4					
Схема расстановки ЗА										
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору										
$R_{оп}, \text{ Ом}$	1	5	10	20	50	70	100	150	200	
$n_{г}, \text{ откл}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ без тросовой защиты}$										
$n_{г}^{(1)}$	<i>a</i>	40,5	42,0	44,4	49,7	62,7	67,3	71,0	73,9	75,2
	<i>б</i>	0,408	0,533	1,11	3,69	13,9	19,1	26,2	35,6	42,1
	<i>в</i>	0	0	0	0,335	4,13	6,95	11,0	17,7	22,5
$n_{г}^{(2)}$	<i>a</i>	0,891	1,55	2,53	4,65	12,7	16,6	20,5	24,2	26,1
	<i>б</i>	0,025	0,084	0,226	0,963	5,70	8,92	13,4	19,5	24,6
	<i>в</i>	0	0	0	0	1,07	2,37	4,40	7,57	10,7

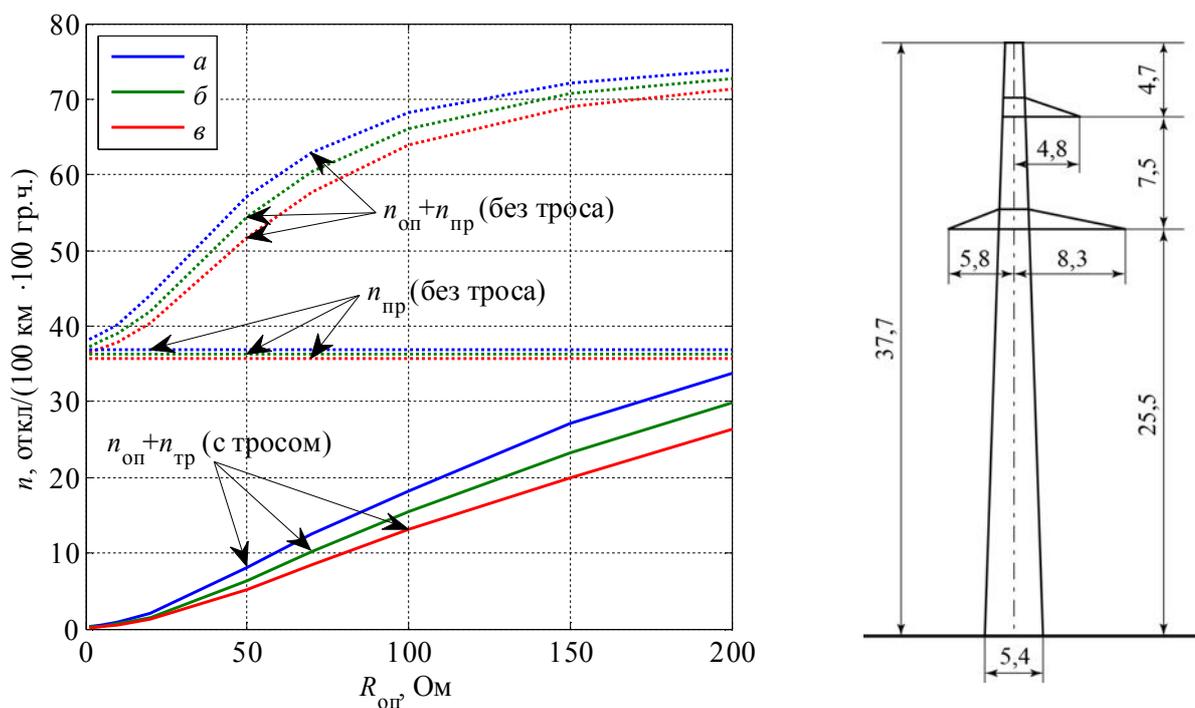


Рисунок А.34 Удельные числа грозвых отключений одноцепной ВЛ 330 кВ на опорах П330-3 при различных уровнях линейной изоляции  
а) лразр = 2,67 м; б) лразр = 2,92 м; в) лразр = 3,18 м

Таблица А.34 Удельные числа грозвых отключений ВЛ 330 кВ на опорах П330-3

R <sub>оп</sub> , Ом	1	5	10	20	50	70	100	150	200
нг, откл/(100 км·100 гр.ч) с тросовой защитой									
а	1,61	1,80	2,23	3,34	9,42	13,8	19,5	28,4	35,0
б	1,17	1,32	1,62	2,47	7,31	11,2	16,5	24,2	30,8
в	0,861	0,970	1,20	1,91	5,81	9,10	13,8	20,7	27,0
нг, откл/(100 км·100 гр.ч) без тросовой защиты									
а	38,3	39,1	40,2	44,0	57,2	63,0	68,1	72,2	73,83
б	37,3	38,0	39,1	42,0	54,4	60,4	66,1	70,7	72,6
в	36,5	37,0	37,8	40,3	51,7	57,8	64,0	69,0	71,3

**Примечания.**

- 1) для ВЛ с тросовой защитой удельное число грозвых отключений представляет собой сумму  $n_r = n_{оп} + n_{тр} + n_{пр}$ , для ВЛ без тросовой защиты представляет сумму  $n_r = n_{оп} + n_{пр}$ ;
- 2) расчетное удельное число прямых ударов молнии в ВЛ с тросовой защитой  $N = 94$  уд/(100 км·100 гр.ч), без тросовой защиты –  $N = 86$  уд/(100 км·100 гр.ч);
- 3) расчетная длина пролета  $\Delta l_{прол} = 300$  м.

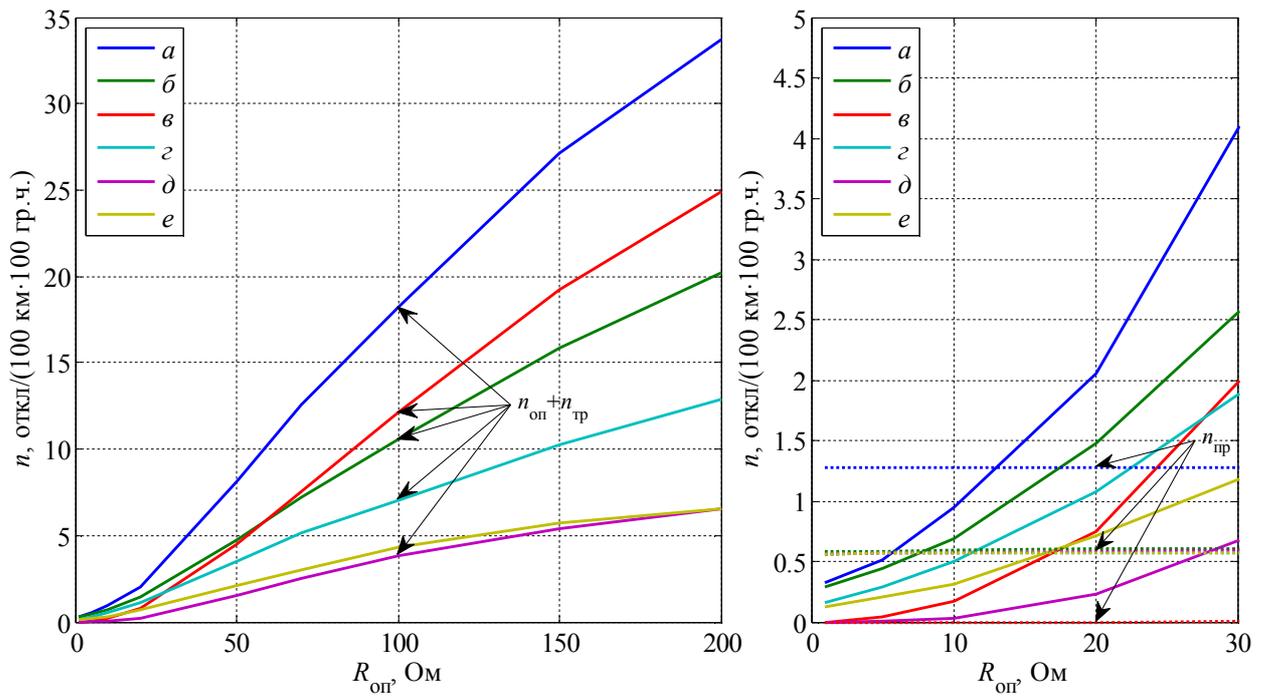
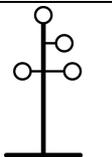
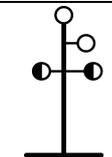
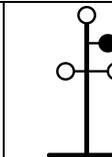
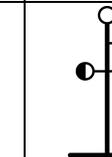
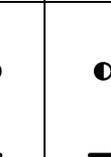
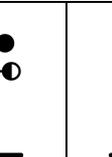


Рисунок А.35 Удельные числа грозвых отключений одноцепной ВЛ 330 кВ на опорах П330-3 с тросовой защитой при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.35 Удельные числа грозвых отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 330 кВ на опорах П330-3 с тросовой защитой

Вариант схемы	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	<i>e</i>			
Число ЗА на опору	0	1		1,5	2				
Схема расстановки ЗА									
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору									
$R_{оп}, Ом$	1	5	10	20	50	70	100	150	200
$n_{г}, откл./100 км·100 гр.ч) с тросовой защитой$									
<i>a</i>	1,61	1,80	2,23	3,34	9,42	13,8	19,5	28,4	35,0
<i>б</i>	0,862	1,03	1,28	2,08	5,33	7,81	11,2	16,5	20,8
<i>в</i>	0	0,042	0,167	0,750	4,47	7,59	12,2	19,3	25,1
<i>г</i>	0,722	0,855	1,06	1,65	4,07	5,70	7,64	10,8	13,4
<i>д</i>	0,565	0,579	0,605	0,814	2,15	3,15	4,45	5,97	7,13
<i>e</i>	0,681	0,766	0,880	1,28	2,70	3,58	4,87	6,24	7,08

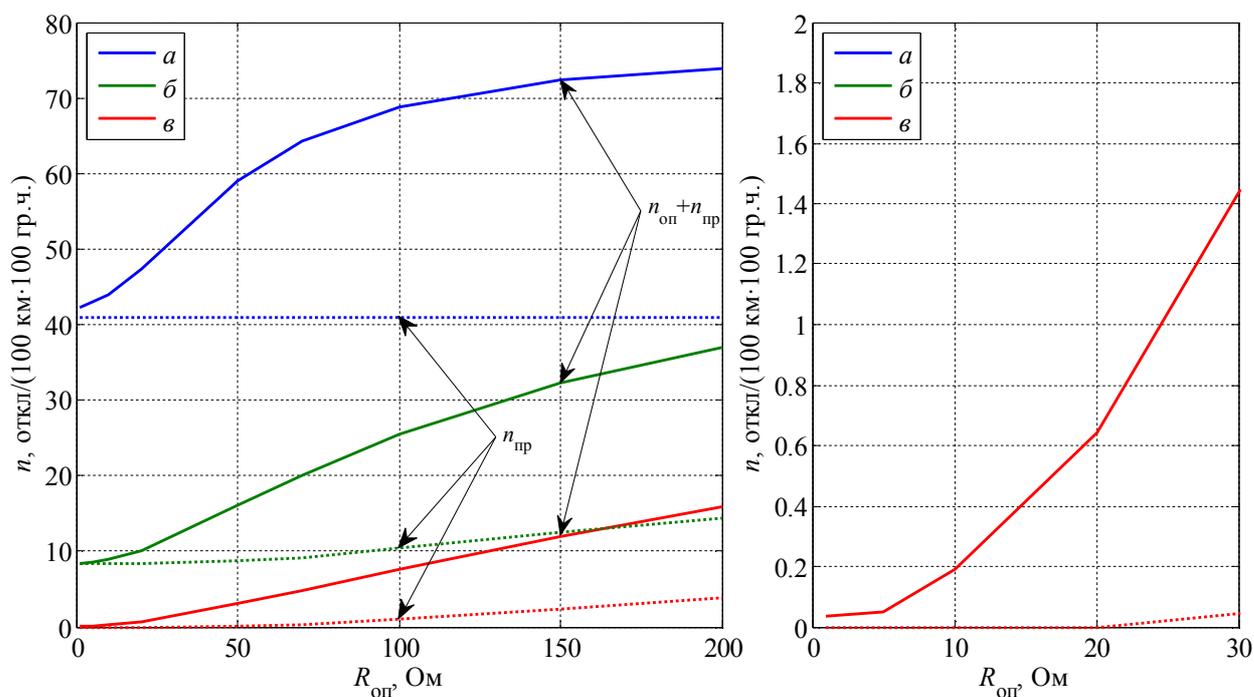


Рисунок А.36 Удельные числа грозвых отключений одноцепной ВЛ 330 кВ на опорах П330-3 без тросовой защиты при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.36 Удельные числа грозвых отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 330 кВ на опорах П330-3 без тросовой защиты

Вариант защиты	а		б		в				
Число ЗА на опору	0		1		2				
Схема расстановки ЗА									
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору									
$R_{\text{оп}}$ , Ом	1	5	10	20	50	70	100	150	200
нг, откл/(100 км·100 гр.ч) без тросовой защиты									
а	38,3	39,1	40,2	44,0	57,2	63,0	68,1	72,2	73,8
б	8,34	8,52	8,88	10,1	16,1	20,1	25,5	32,2	36,9
в	0,034	0,048	0,191	0,642	3,03	4,73	7,58	12,0	15,9

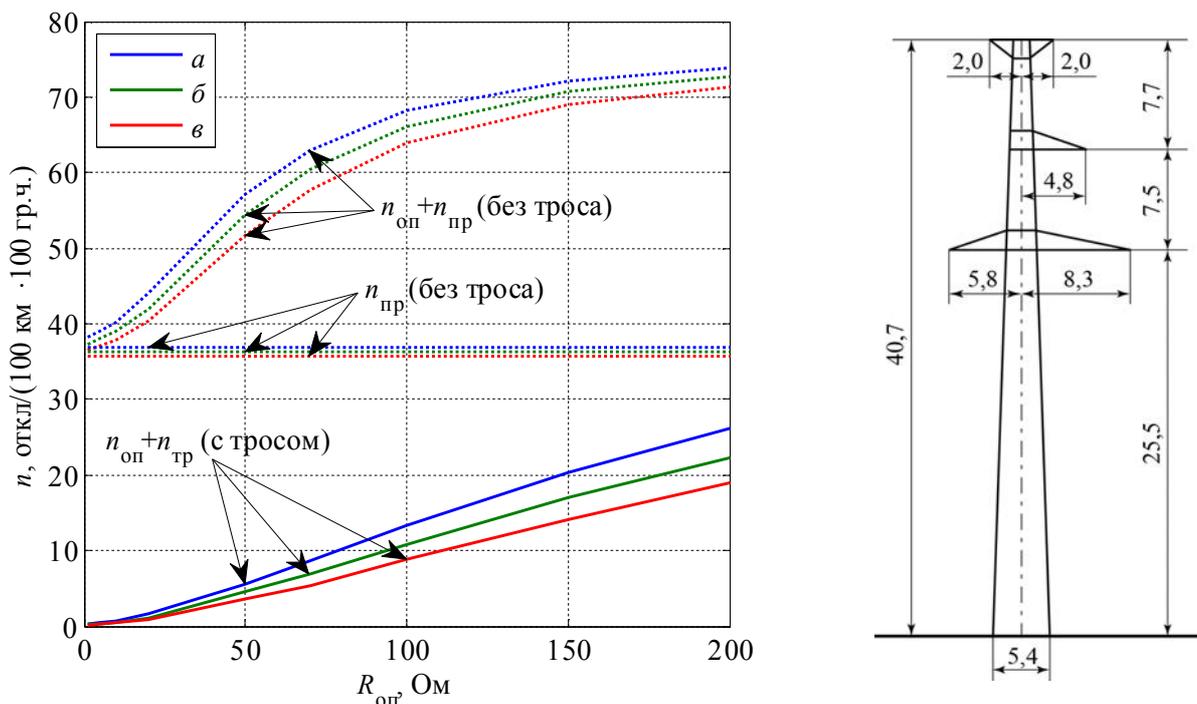


Рисунок А.37 Удельные числа грозвых отключений одноцепной ВЛ 330 кВ на опорах П330-3Т при различных уровнях линейной изоляции  
 а)  $l_{\text{разр}} = 2,67$  м; б)  $l_{\text{разр}} = 2,92$  м; в)  $l_{\text{разр}} = 3,18$  м

Таблица А.37 Удельные числа грозвых отключений ВЛ 330 кВ на опорах П330-3т

$R_{\text{оп}}, \text{ Ом}$	1	5	10	20	50	70	100	150	200
$n_{\text{г}}, \text{ откл}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ с тросовой защитой}$									
<i>a</i>	0,441	0,498	0,811	1,69	5,58	8,71	13,5	20,4	26,3
<i>б</i>	0,274	0,454	0,540	1,21	4,58	6,92	10,9	17,1	22,3
<i>в</i>	0,202	0,354	0,487	0,886	3,57	5,51	8,85	14,3	19,0
$n_{\text{г}}, \text{ откл}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ без тросовой защиты}$									
<i>a</i>	38,3	39,1	40,2	44,0	57,2	63,0	68,1	72,2	73,8
<i>б</i>	37,3	38,0	39,1	42,0	54,4	60,4	66,1	70,7	72,6
<i>в</i>	36,5	37,0	37,8	40,3	51,7	57,8	64,0	69,0	71,3

**Примечания.**

- 1) для ВЛ с тросовой защитой удельное число грозвых отключений представляет собой сумму  $n_{\text{г}} = n_{\text{оп}} + n_{\text{тр}} + n_{\text{пр}}$ , для ВЛ без тросовой защиты представляет сумму  $n_{\text{г}} = n_{\text{оп}} + n_{\text{пр}}$ ;
- 2) расчетное удельное число прямых ударов молнии в ВЛ с тросовой защитой  $N = 97 \text{ уд}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч})$ , без тросовой защиты –  $N = 86 \text{ уд}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч})$ ;
- 3) расчетная длина пролета  $\Delta l_{\text{прол}} = 300 \text{ м}$ .

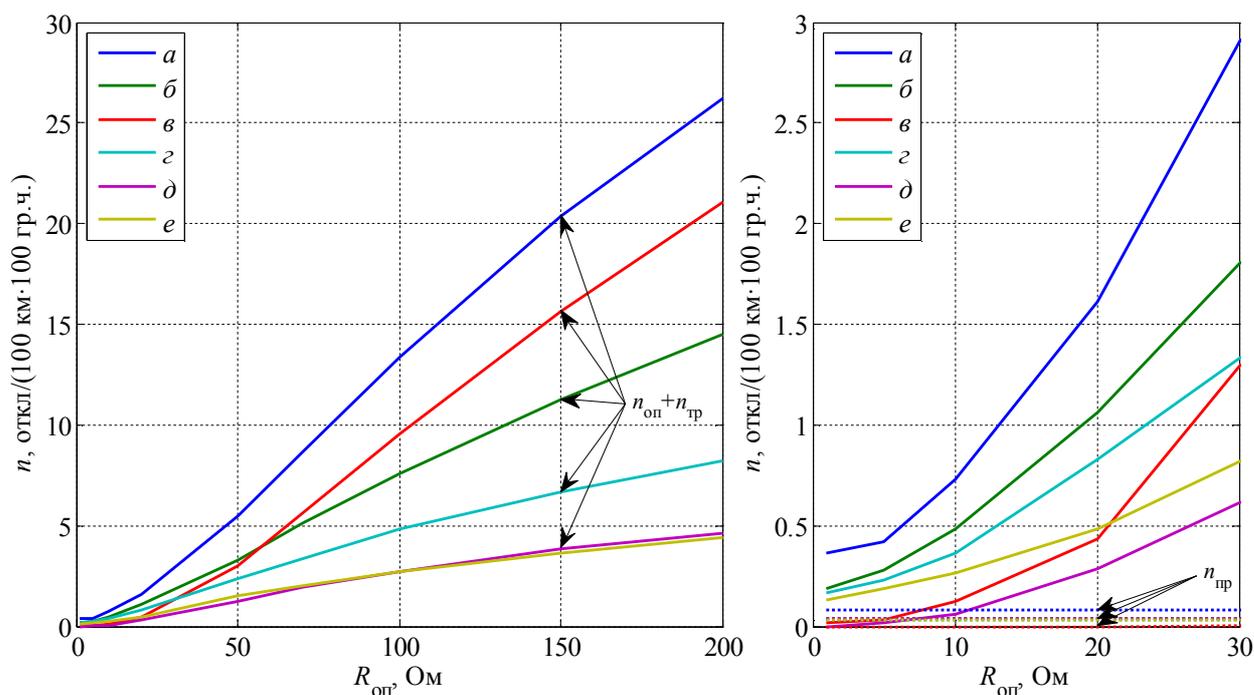


Рисунок А.38 Удельные числа грозных отключений одноцепной ВЛ 330 кВ на опорах П330-3Т с тросовой защитой при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.38 Удельные числа грозных отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 330 кВ на опорах П330-3т с тросовой защитой

Вариант схемы	а	б	в	г	д	е			
Число ЗА на опору	0	1		1,5	2				
Схема расстановки ЗА									
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору									
R <sub>оп</sub> , Ом	1	5	10	20	50	70	100	150	200
нг, откл/(100 км·100 гр.ч) с тросовой защитой									
а	0,441	0,498	0,811	1,69	5,58	8,71	13,5	20,4	26,3
б	0,222	0,317	0,522	1,10	3,33	5,13	7,64	11,3	14,5
в	0,019	0,029	0,124	0,439	3,02	5,63	9,56	15,6	21,1
г	0,201	0,263	0,401	0,867	2,37	3,38	4,86	6,68	8,22
д	0,036	0,050	0,093	0,321	1,31	1,95	2,77	3,89	4,68
е	0,168	0,225	0,296	0,515	1,52	2,05	2,75	3,68	4,42

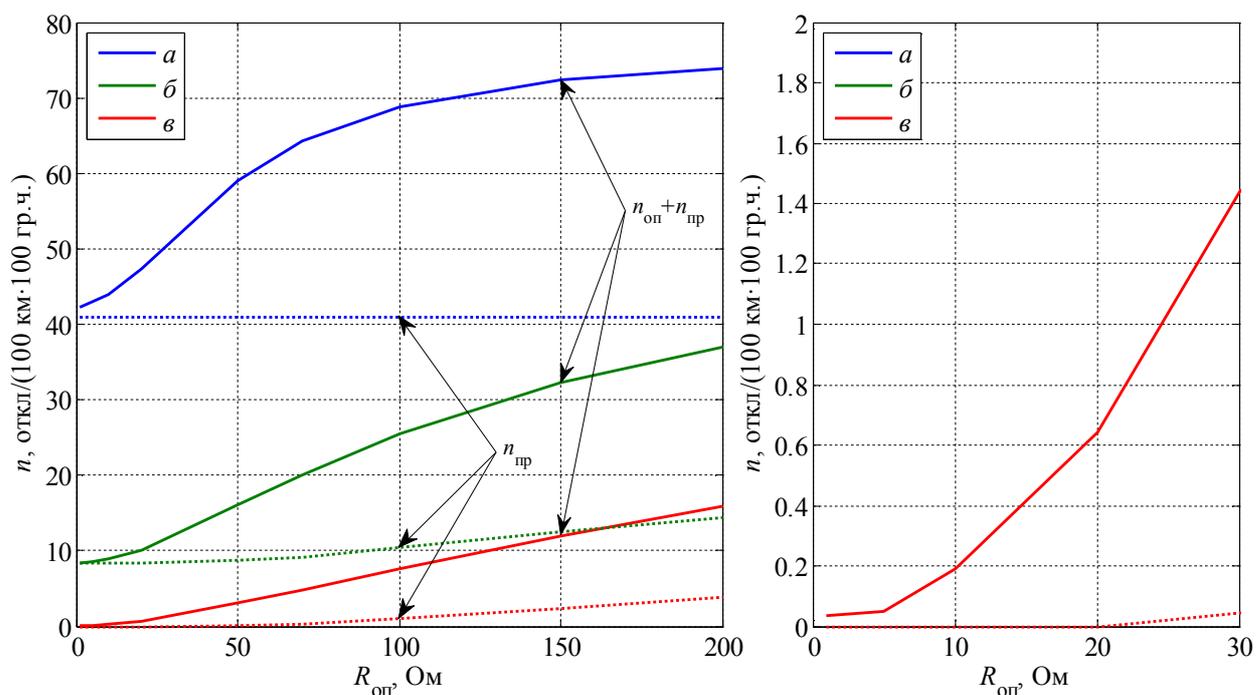


Рисунок А.39 Удельные числа грозовых отключений одноцепной ВЛ 330 кВ на опорах П330-3Т без тросовой защиты при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.39 Удельные числа грозовых отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 330 кВ на опорах П330-3т без тросовой защиты

Вариант защиты	<i>a</i>		<i>б</i>		<i>в</i>				
Число ЗА на опору	0		1		2				
Схема расстановки ЗА									
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору									
$R_{оп}$ , Ом	1	5	10	20	50	70	100	150	200
$n_{г}$ , откл/(100 км · 100 гр.ч) без тросовой защиты									
<i>a</i>	38,3	39,1	40,2	44,0	57,2	63,0	68,1	72,2	73,8
<i>б</i>	8,34	8,52	8,88	10,1	16,1	20,1	25,5	32,2	36,9
<i>в</i>	0,034	0,048	0,191	0,642	3,04	4,73	7,58	12,0	15,9

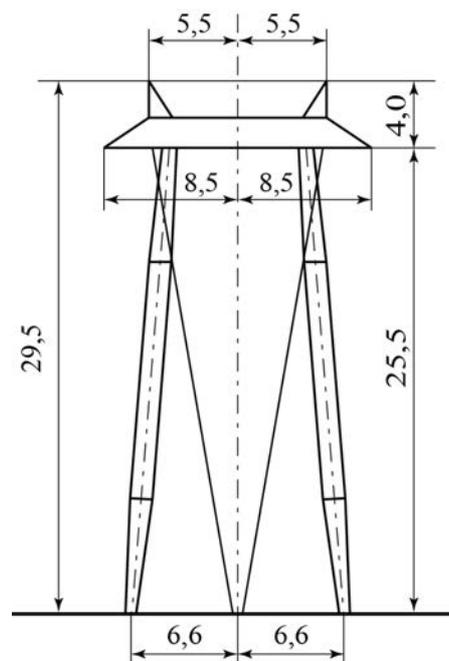
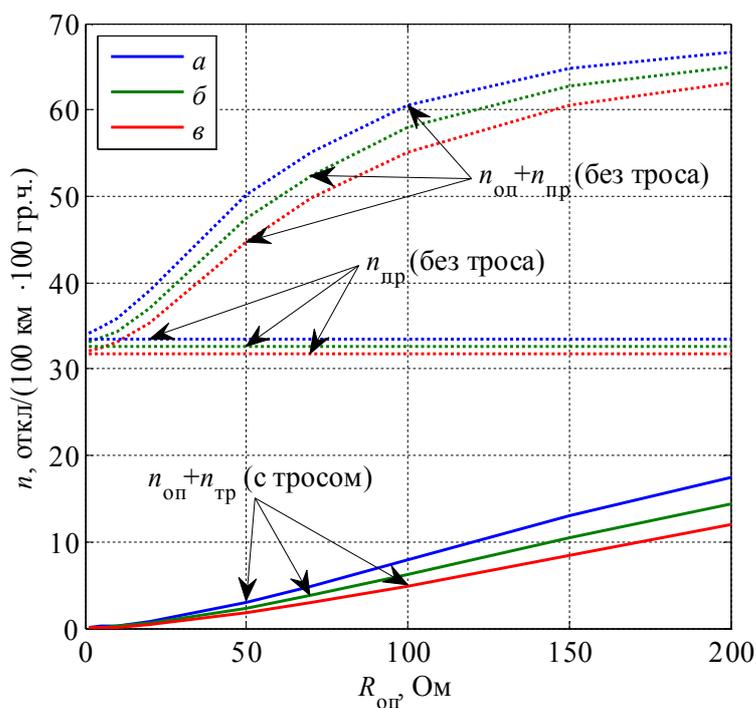


Рисунок А.40 Удельные числа грозвых отключений одноцепной ВЛ 330 кВ на опорах П330-9 при различных уровнях линейной изоляции  
а) лразр = 2,67 м; б) лразр = 2,92 м; в) лразр = 3,18 м

Таблица А.40 Удельные числа грозвых отключений ВЛ 330 кВ на опорах П330-9

R <sub>оп</sub> , Ом	1	5	10	20	50	70	100	150	200
нг, откл/(100 км·100 гр.ч) с тросовой защитой									
а	0,443	0,534	0,688	1,10	3,41	5,15	8,30	13,3	17,8
б	0,313	0,372	0,488	0,791	2,57	4,09	6,46	10,8	14,7
в	0,226	0,271	0,368	0,581	1,93	3,20	5,11	8,59	12,3
нг, откл/(100 км·100 гр.ч) без тросовой защиты									
а	34,2	34,8	35,8	39,0	50,2	55,0	60,6	64,8	66,7
б	33,1	33,6	34,4	37,0	47,4	52,3	57,9	62,8	65,0
в	32,1	32,5	33,1	35,3	44,7	49,8	55,1	60,5	63,2

*Примечания.*

- 1) для ВЛ с тросовой защитой удельное число грозвых отключений представляет собой сумму  $n_{г} = n_{оп} + n_{тр} + n_{пр}$ , для ВЛ без тросовой защиты представляет сумму  $n_{г} = n_{оп} + n_{пр}$ ;
- 2) расчетное удельное число прямых ударов молнии в ВЛ с тросовой защитой  $N = 91$  уд/(100 км·100 гр.ч), без тросовой защиты –  $N = 79$  уд/(100 км·100 гр.ч);
- 3) расчетная длина пролета  $\Delta l_{прол} = 300$  м.

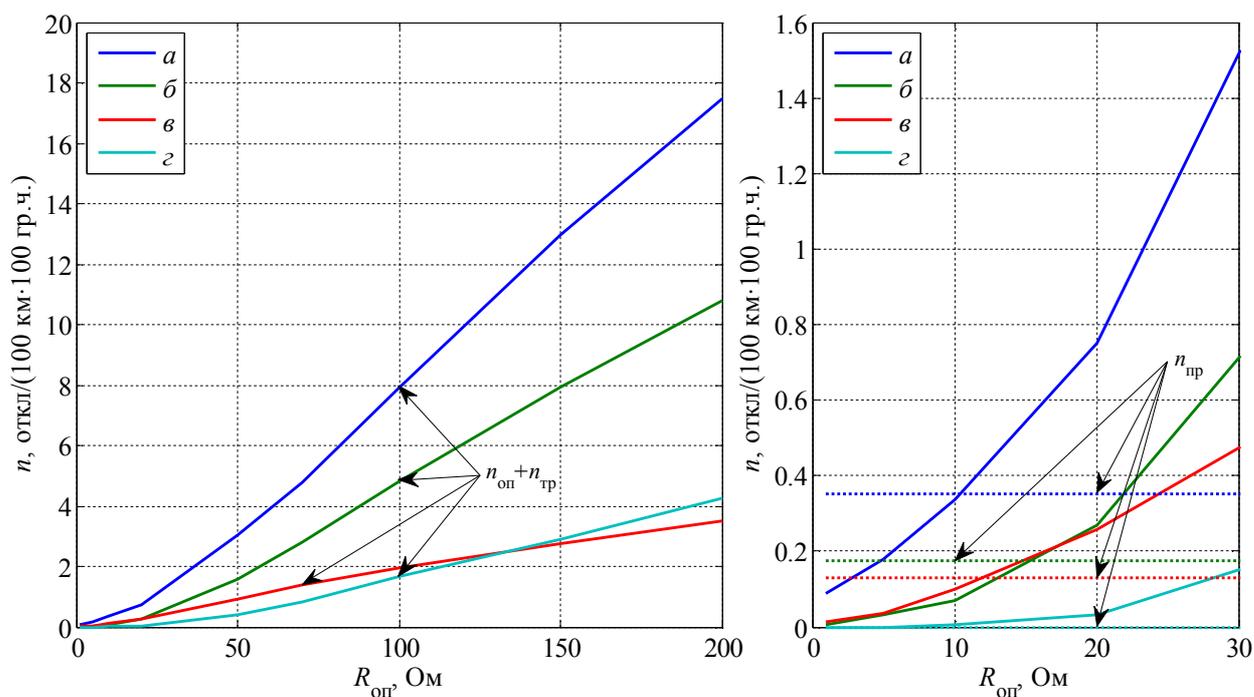


Рисунок А.41 Удельные числа грозвых отключений одноцепной ВЛ 330 кВ на опорах П330-9 с тросовой защитой при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.41 Удельные числа грозвых отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 330 кВ на опорах П330-9 с тросовой защитой

Вариант защиты	<i>a</i>		<i>б</i>		<i>в</i>		<i>г</i>		
Число ЗА на опору	0		1		1,5		2		
Схема расстановки ЗА									
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору									
<i>a</i>	0,443	0,534	0,688	1,10	3,41	5,15	8,30	13,3	17,8
<i>б</i>	0,181	0,207	0,245	0,445	1,77	2,98	5,00	8,12	11,0
<i>в</i>	0,142	0,165	0,229	0,387	1,03	1,49	2,07	2,88	3,63
<i>г</i>	0	0	0,0064	0,032	0,394	0,824	1,67	2,89	4,26

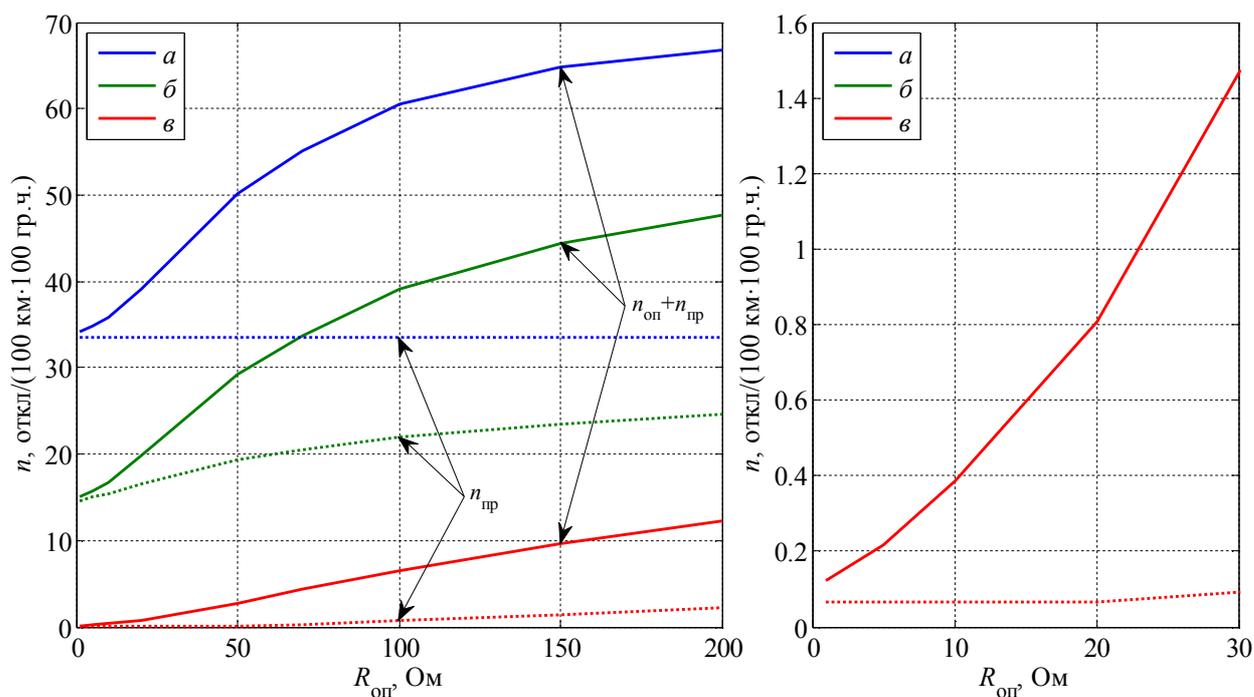


Рисунок А.42 Удельные числа грозвых отключений одноцепной ВЛ 330 кВ на опорах П330-9 без тросовой защиты при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.42 Удельные числа грозвых отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 330 кВ на опорах П330-9 без тросовой защиты

Вариант защиты	а			б			в		
Число ЗА на опору	0			1,5			2		
Схема расстановки ЗА									
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору									
а	34,2	34,8	35,8	39,0	50,2	55,0	60,6	64,8	66,7
б	15,0	15,8	16,8	19,8	29,2	33,7	39,2	44,5	47,6
в	0,122	0,215	0,386	0,807	2,79	4,29	6,48	9,61	12,3

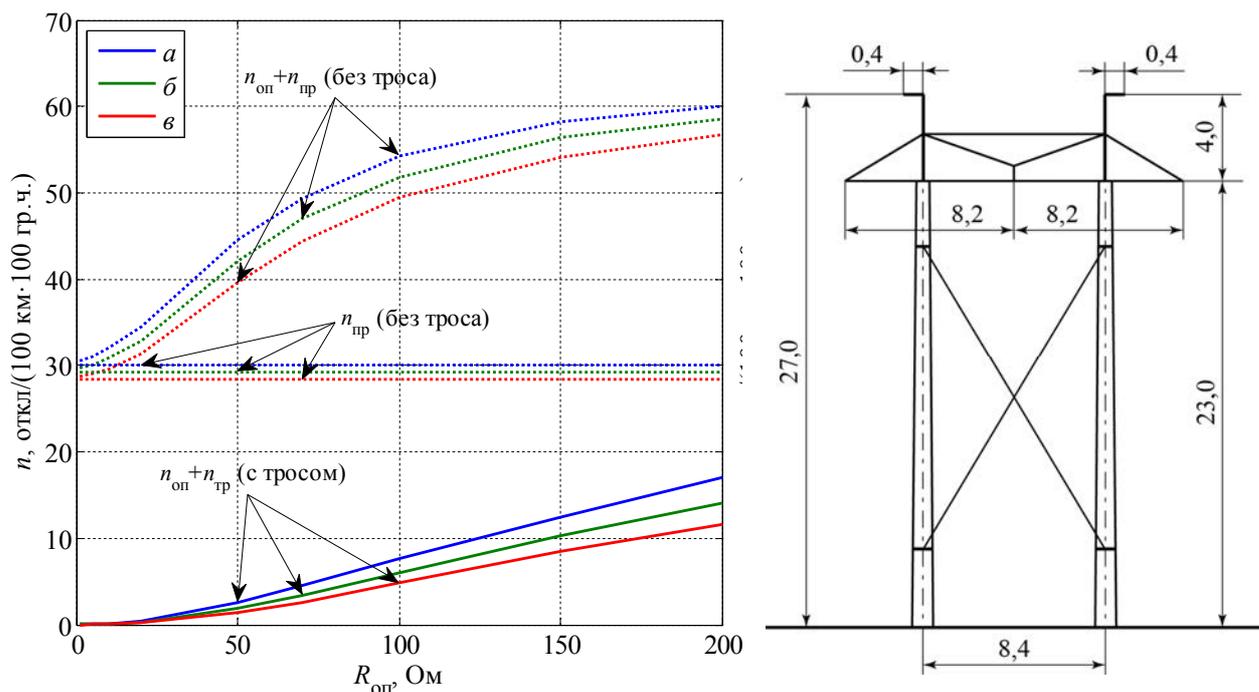


Рисунок А.43 Удельные числа грозвых отключений одноцепной ВЛ 330 кВ на опорах ПБ330-7Н при различных уровнях линейной изоляции  
 а)  $l_{\text{разр}} = 2,67$  м; б)  $l_{\text{разр}} = 2,92$  м; в)  $l_{\text{разр}} = 3,18$  м

Таблица А.43 Удельные числа грозвых отключений ВЛ 330 кВ на опорах ПБ330-7н

$R_{\text{оп}}, \text{ Ом}$	1	5	10	20	50	70	100	150	200
$n_{\text{г}}, \text{ откл.}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ с тросовой защитой}$									
<i>a</i>	0,452	0,480	0,585	0,892	3,00	5,01	8,02	12,9	17,5
<i>б</i>	0,333	0,345	0,401	0,652	2,21	3,77	6,36	10,6	14,4
<i>в</i>	0,252	0,264	0,291	0,476	1,64	2,81	5,06	8,69	11,9
$n_{\text{г}}, \text{ откл.}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ без тросовой защиты}$									
<i>a</i>	30,6	31,1	32,0	34,5	44,5	49,4	54,3	58,3	60,1
<i>б</i>	29,7	30,1	30,9	32,9	42,0	47,0	51,8	56,4	58,5
<i>в</i>	28,7	29,0	29,6	31,4	39,5	44,5	49,4	54,2	56,7

Примечания.

- 1) для ВЛ с тросовой защитой удельное число грозвых отключений представляет собой сумму  $n_{\text{г}} = n_{\text{оп}} + n_{\text{тр}} + n_{\text{пр}}$ , для ВЛ без тросовой защиты представляет сумму  $n_{\text{г}} = n_{\text{оп}} + n_{\text{пр}}$ ;
- 2) расчетное удельное число прямых ударов молнии в ВЛ с тросовой защитой  $N = 87 \text{ уд}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч})$ , без тросовой защиты –  $N = 72 \text{ уд}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч})$ ;
- 3) расчетная длина пролета  $\Delta l_{\text{прол}} = 300 \text{ м}$ .

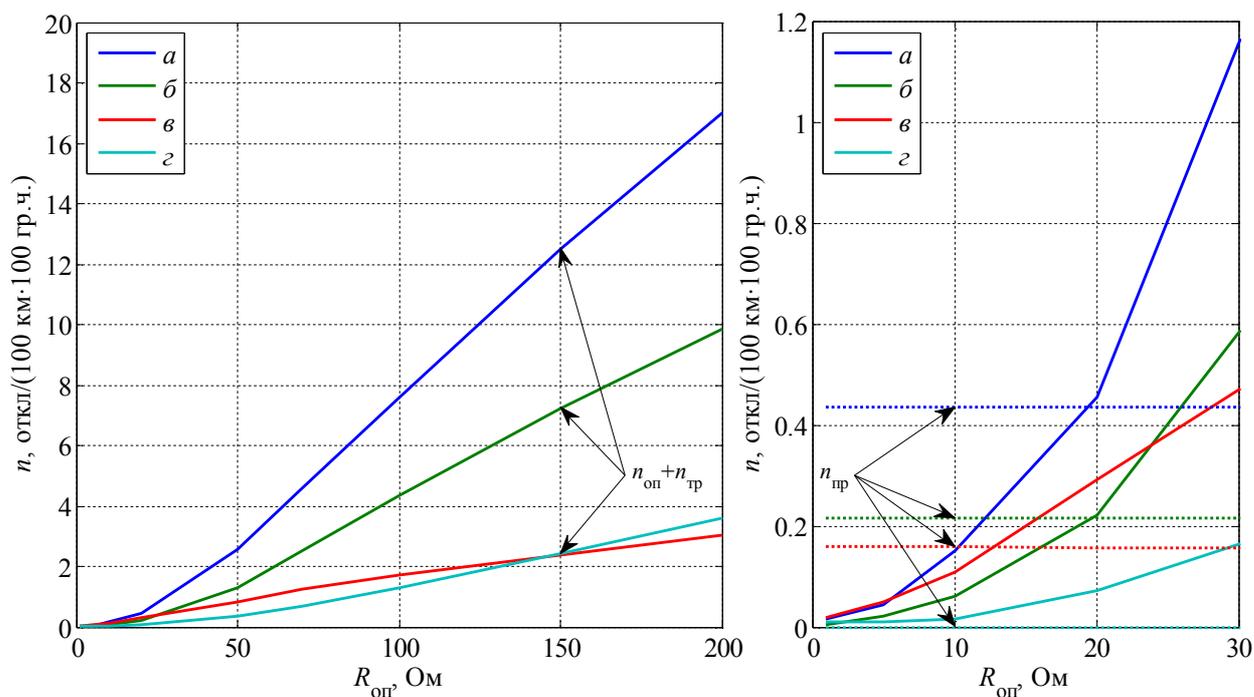


Рисунок А.44 Удельные числа грозовых отключений одноцепной ВЛ 330 кВ на опорах ПБ330-7Н с тросовой защитой при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.44 Удельные числа грозовых отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 330 кВ на опорах ПБ330-7Н с тросовой защитой

Вариант защиты	а		б		в		г		
Число ЗА на опору	0		1		1,5		2		
Схема расстановки ЗА									
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору									
а	0,452	0,480	0,585	0,892	3,00	5,01	8,02	12,9	17,5
б	0,221	0,238	0,277	0,438	1,526	2,72	4,59	7,45	10,1
в	0,178	0,209	0,267	0,450	0,982	1,38	1,86	2,54	3,15
г	0,011	0,011	0,017	0,072	0,344	0,68	1,28	2,44	3,63

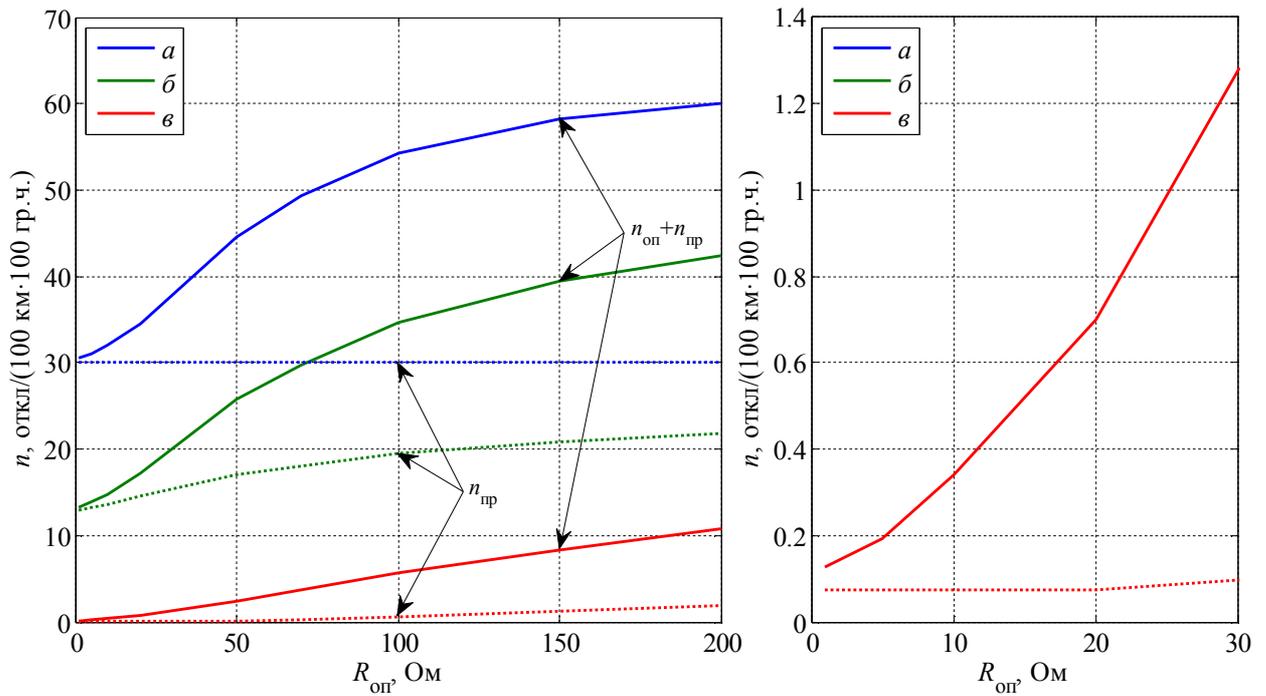


Рисунок А.45 Удельные числа грозных отключений одноцепной ВЛ 330 кВ на опорах ПБ330-7Н без тросовой защиты при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.45 Удельные числа грозных отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 330 кВ на опорах ПБ330-7н без тросовой защиты

Вариант защиты	а		б		в				
Число ЗА на опору	0		1,5		2				
Схема расстановки ЗА									
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ● – ЗА установлен через опору									
а	30,6	31,1	32,0	34,5	44,5	49,4	54,3	58,3	60,1
б	13,3	13,9	14,8	17,3	25,8	29,7	34,7	39,4	42,4
в	0,127	0,192	0,342	0,701	2,43	3,71	5,67	8,38	10,8

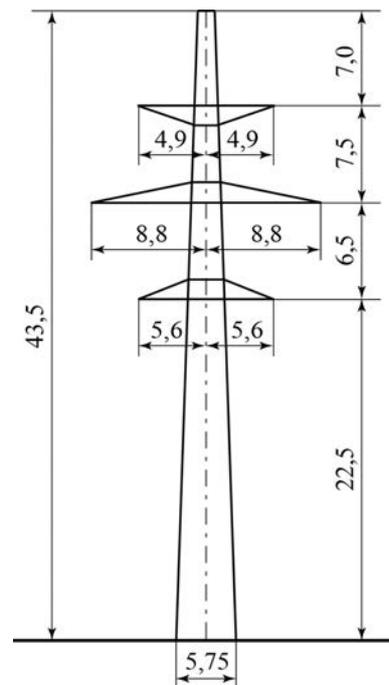
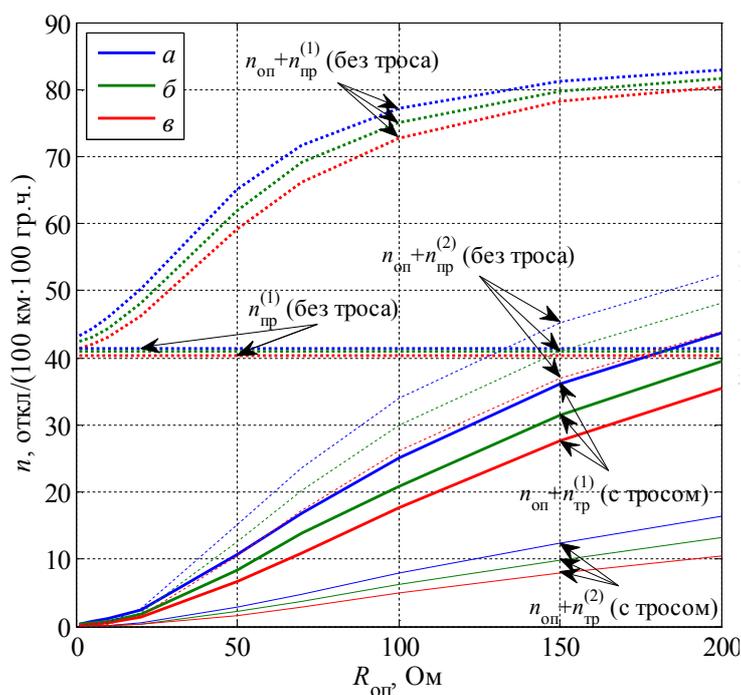


Рисунок А.46 Удельные числа грозных отключений двухцепной ВЛ 330 кВ на опорах П330-2 при различных уровнях линейной изоляции  
 а)  $l_{\text{разр}} = 2,67$  м; б)  $l_{\text{разр}} = 2,92$  м; в)  $l_{\text{разр}} = 3,18$  м

Таблица А.46 Удельные числа грозных отключений ВЛ 330 кВ на опорах П330-2

$R_{\text{оп}}, \text{ Ом}$	1	5	10	20	50	70	100	150	200	
$n_{\text{Г}}, \text{ откл}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ с тросовой защитой}$										
$n_{\text{Г}}^{(1)}$	<i>a</i>	0,855	1,12	1,59	2,97	11,2	17,3	25,7	36,6	44,3
	<i>б</i>	0,651	0,835	1,16	2,25	8,67	14,2	21,2	31,9	39,9
	<i>в</i>	0,475	0,668	0,872	1,65	7,05	11,3	17,9	28,0	35,7
$n_{\text{Г}}^{(2)}$	<i>a</i>	0,020	0,051	0,183	0,570	2,89	4,79	7,95	12,4	16,4
	<i>б</i>	0,020	0,031	0,122	0,418	2,18	3,73	6,24	9,88	13,2
	<i>в</i>	0,010	0,020	0,031	0,234	1,57	2,86	4,91	8,04	10,6
$n_{\text{Г}}, \text{ откл}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ без тросовой защиты}$										
$n_{\text{Г}}^{(1)}$	<i>a</i>	43,3	44,3	46,0	50,2	65,1	71,8	77,2	81,2	82,8
	<i>б</i>	42,4	43,1	44,4	48,1	62,0	69,1	75,1	79,8	81,7
	<i>в</i>	41,4	42,0	43,0	46,2	59,1	66,2	72,8	78,2	80,5
$n_{\text{Г}}^{(2)}$	<i>a</i>	0,188	0,316	0,615	2,73	15,2	23,6	34,1	45,3	52,4
	<i>б</i>	0,111	0,230	0,426	2,02	12,6	20,1	29,9	40,9	48,1
	<i>в</i>	0,042	0,119	0,314	1,55	10,5	17,3	26,1	37,0	44,0

**Примечания.**

- 1) сплошными линиями на рисунке показаны составляющие удельных чисел грозных отключений для ВЛ с тросовой защитой, штриховыми линиями – для ВЛ без тросовой защиты;
- 2) жирными линиями на рисунке показаны составляющие удельных грозных одноцепных отключений  $n_{\text{Г}}^{(1)}$ , тонкими линиями – двухцепных отключений  $n_{\text{Г}}^{(2)}$ ;
- 3) для ВЛ с тросовой защитой удельное число грозных отключений представляет собой сумму  $n_{\text{Г}} = n_{\text{оп}} + n_{\text{тр}} + n_{\text{пр}}$ , для ВЛ без тросовой защиты представляет сумму  $n_{\text{Г}} = n_{\text{оп}} + n_{\text{пр}}$ ;
- 4) удельное число прямых ударов молнии в ВЛ с тросовой защитой составляет  $N = 98 \text{ уд}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч})$ , без тросовой защиты –  $N = 95 \text{ уд}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч})$ ;
- 5) расчетная длина пролета  $\Delta l_{\text{прол}} = 300 \text{ м}$ .

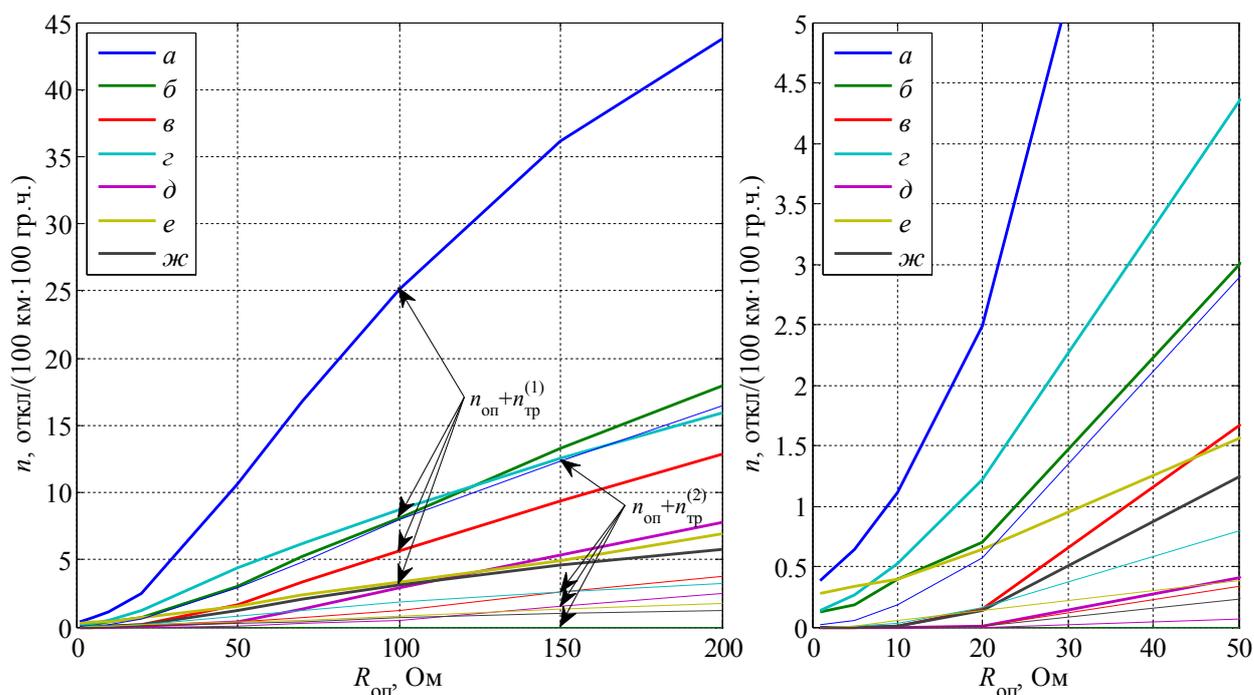


Рисунок А.47 Удельные числа грозвых отключений одноцепной ВЛ 330 кВ на опорах П330-2 с тросовой защитой при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.47 Удельные числа грозвых отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 330 кВ на опорах П330-2 с тросовой защитой

Вариант защиты		а	б	в	г	д	е	ж		
Число ЗА на опору		0			3			4		
Схема расстановки ЗА										
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору										
Roп, Ом	1	5	10	20	50	70	100	150	200	
нг, откл./100 км·100 гр.ч с тросовой защитой										
$n_{г}^{(1)}$	а	0,855	1,12	1,59	2,97	11,2	17,3	25,7	36,6	44,3
	б	0,360	0,421	0,635	0,940	3,23	5,44	8,39	13,6	18,2
	в	0	0	0,0102	0,153	1,67	3,30	5,62	9,40	12,9
	г	0,348	0,471	0,734	1,43	4,56	6,42	8,92	12,7	16,1
	д	0	0	0	0,0102	0,409	1,35	2,88	5,35	7,82
	е	0,753	0,814	0,875	1,12	2,04	2,84	3,78	5,40	7,38
	ж	0	0	0,0102	0,137	1,24	2,05	3,16	4,66	5,81
$n_{г}^{(2)}$	а	0,020	0,051	0,183	0,570	2,89	4,79	7,95	12,4	16,4
	б	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	в	0	0	0	0,0051	0,333	0,667	1,27	2,59	3,79
	г	0	0,0102	0,0305	0,158	0,796	1,22	1,85	2,62	3,28
	д	0	0	0	0	0,068	0,214	0,489	1,52	2,51
	е	0	0,0102	0,0509	0,132	0,376	0,499	0,767	1,28	1,72
	ж	0	0	0	0,0102	0,234	0,387	0,667	0,966	1,22

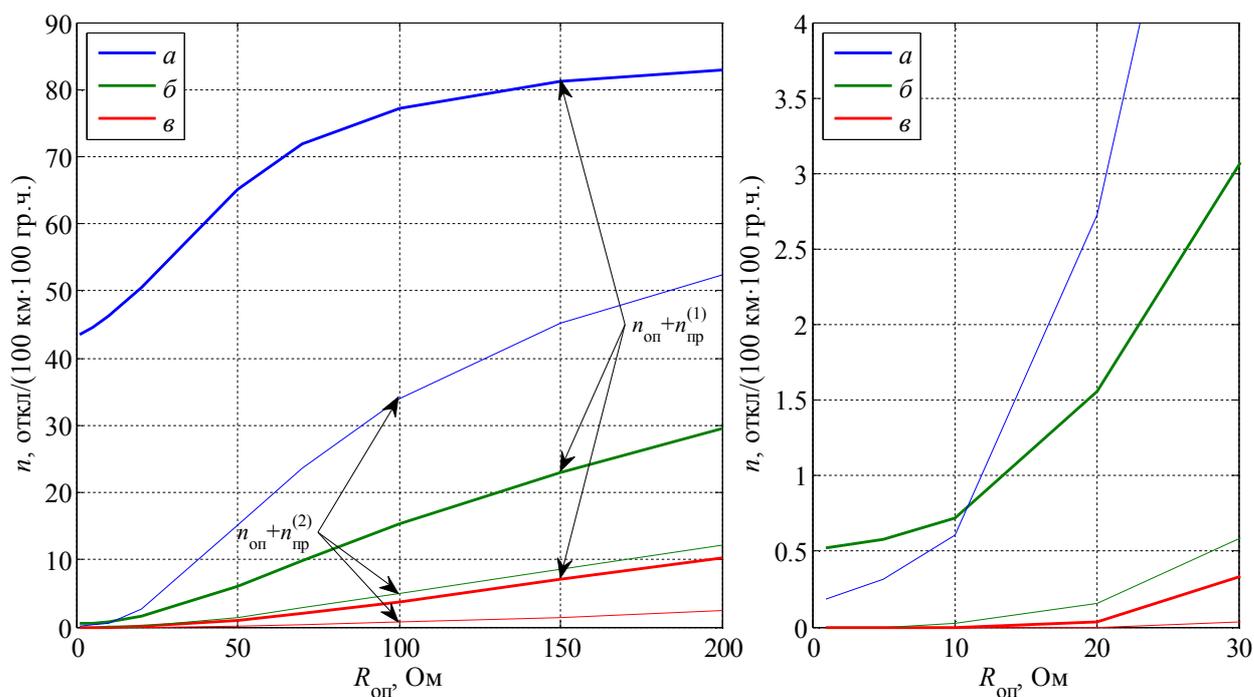


Рисунок А.48 Удельные числа грозовых отключений одноцепной ВЛ 330 кВ на опорах П330-2 без тросовой защиты при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.48 Удельные числа грозовых отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 330 кВ на опорах П330-2 без тросовой защиты

Вариант защиты		а				б			в	
Число ЗА на опору		0				2			4	
Схема расстановки ЗА										
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору										
Roп, Ом	1	5	10	20	50	70	100	150	200	
нг, откл/(100 км·100 гр.ч) без тросовой защиты										
$n_{г}^{(1)}$	а	43,3	44,3	46,0	50,2	65,1	71,8	77,2	81,2	82,8
	б	0,525	0,576	0,720	1,56	6,05	9,85	15,4	23,1	29,5
	в	0	0	0	0,034	0,917	1,91	3,76	7,16	10,3
$n_{г}^{(2)}$	а	0,188	0,316	0,615	2,73	15,2	23,6	34,1	45,3	52,4
	б	0	0	0,025	0,153	1,46	2,87	4,93	8,64	12,2
	в	0	0	0	0	0,093	0,280	0,671	1,45	2,47

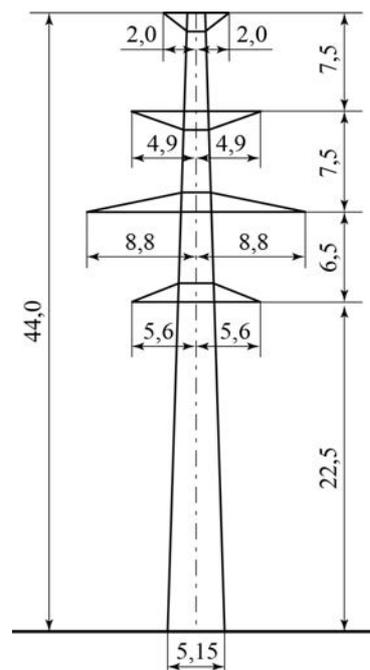
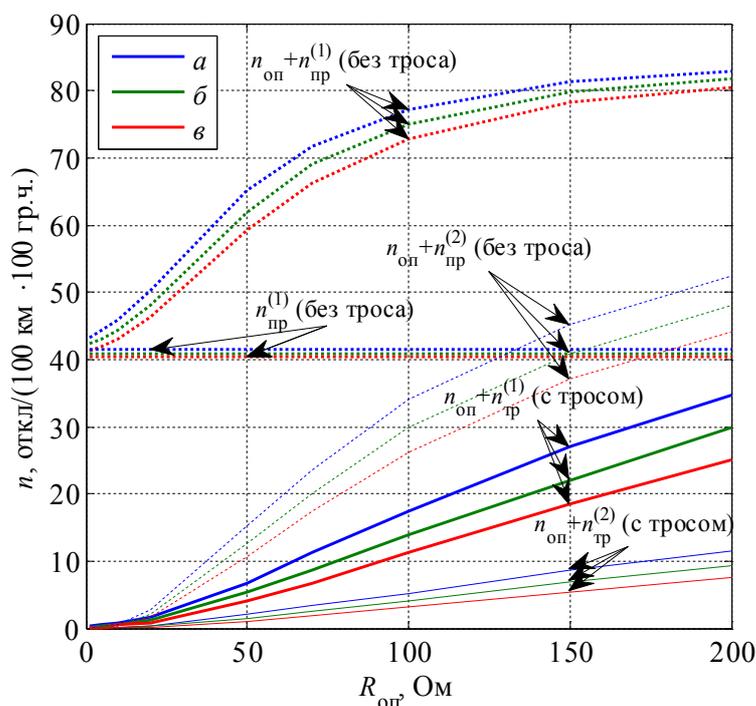


Рисунок А.49 Удельные числа грозвых отключений двухцепной ВЛ 330 кВ на опорах П330-2Т при различных уровнях линейной изоляции  
 а) лразр = 2,67 м; б) лразр = 2,92 м; в) лразр = 3,18 м

Таблица А.49 Удельные числа грозвых отключений ВЛ 330 кВ на опорах П330-2т

R <sub>оп</sub> , Ом		1	5	10	20	50	70	100	150	200
нг, откл/(100 км·100 гр.ч) с тросовой защитой										
$n_{Г}^{(1)}$	а	0,448	0,575	0,838	1,81	6,83	11,3	17,5	27,1	34,7
	б	0,289	0,489	0,574	1,31	5,39	8,77	14,1	22,2	29,9
	в	0,227	0,279	0,532	0,943	4,21	6,79	11,3	18,6	25,2
$n_{Г}^{(2)}$	а	0,0105	0,042	0,148	0,411	1,97	3,39	5,25	8,72	11,5
	б	0	0,0105	0,084	0,285	1,35	2,58	4,09	6,96	9,32
	в	0	0	0,0105	0,190	0,978	1,79	3,24	5,42	7,56
нг, откл/(100 км·100 гр.ч) без тросовой защиты										
$n_{Г}^{(1)}$	а	43,3	44,3	46,0	50,2	65,1	71,8	77,2	81,2	82,8
	б	42,4	43,1	44,4	48,1	62,0	69,1	75,1	79,8	81,7
	в	41,4	42,0	43,0	46,2	59,1	66,2	72,8	78,2	80,5
$n_{Г}^{(2)}$	а	0,188	0,316	0,615	2,73	15,2	23,6	34,1	45,3	52,4
	б	0,111	0,230	0,426	2,02	12,6	20,1	29,9	40,9	48,1
	в	0,042	0,119	0,314	1,55	10,5	17,3	26,1	37,0	44,0

Примечания.

1) сплошными линиями на рисунке показаны составляющие удельных чисел грозвых отключений для ВЛ с тросовой защитой, штриховыми линиями – для ВЛ без тросовой защиты;

2) жирными линиями на рисунке показаны составляющие удельных грозвых одноцепных отключений  $n_{Г}^{(1)}$ , тонкими линиями – двухцепных отключений  $n_{Г}^{(2)}$ ;

3) для ВЛ с тросовой защитой удельное число грозвых отключений представляет собой сумму  $n_{Г} = n_{оп} + n_{тр} + n_{пр}$ , для ВЛ без тросовой защиты представляет сумму  $n_{Г} = n_{оп} + n_{пр}$ ;

4) удельное число прямых ударов молнии в ВЛ с тросовой защитой составляет  $N = 100$  уд/(100 км·100 гр.ч), без тросовой защиты –  $N = 95$  уд/(100 км·100 гр.ч);

5) расчетная длина пролета  $\Delta l_{прол} = 300$  м.

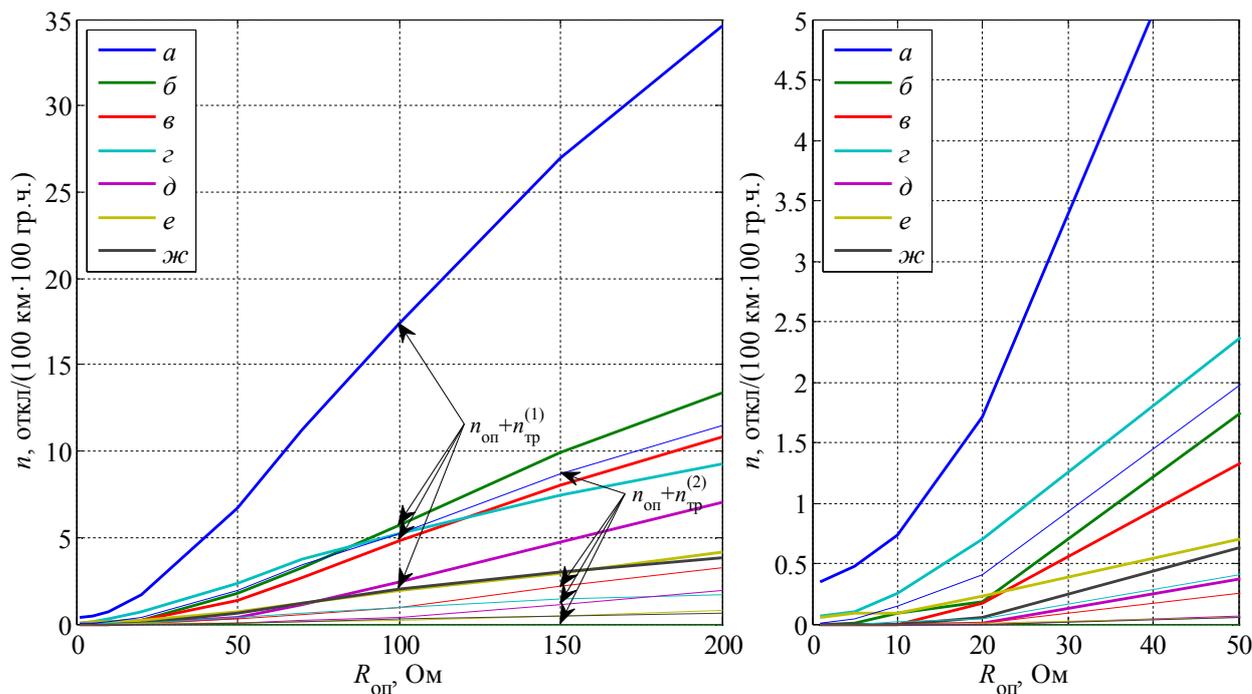


Рисунок А.50 Удельные числа грозвых отключений одноцепной ВЛ 330 кВ на опорах П330-2Т с тросовой защитой при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.50 Удельные числа грозвых отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 330 кВ на опорах П330-2т с тросовой защитой

Вариант защиты	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	<i>е</i>	<i>жс</i>			
Число ЗА на опору	0			3			4			
Схема расстановки ЗА										
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору										
$R_{оп}, \text{ Ом}$	1	5	10	20	50	70	100	150	200	
$n_{г}, \text{ откл}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ с тросовой защитой}$										
$n_{г}^{(1)}$	<i>a</i>	0,448	0,575	0,838	1,81	6,83	11,3	17,5	27,1	34,7
	<i>б</i>	0,050	0,061	0,135	0,230	1,78	3,34	5,76	10,0	13,5
	<i>в</i>	0	0	0	0,169	1,33	2,67	4,82	8,01	10,8
	<i>г</i>	0,111	0,147	0,300	0,743	2,40	3,75	5,27	7,45	9,29
	<i>д</i>	0	0	0	0,011	0,365	1,07	2,45	4,77	7,07
	<i>е</i>	0,152	0,184	0,184	0,331	0,795	1,33	2,012	3,04	4,23
	<i>жс</i>	0	0	0	0,058	0,627	1,16	2,051	3,04	3,86
$n_{г}^{(2)}$	<i>a</i>	0,0105	0,042	0,148	0,411	1,97	3,39	5,25	8,72	11,5
	<i>б</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>в</i>	0	0	0	0,011	0,255	0,503	0,976	2,16	3,24
	<i>г</i>	0	0	0,016	0,042	0,411	0,652	0,971	1,41	1,71
	<i>д</i>	0	0	0	0	0,063	0,177	0,401	1,12	1,90
	<i>е</i>	0	0	0	0,011	0,0527	0,105	0,179	0,424	0,805
	<i>жс</i>	0	0	0	0	0,0527	0,142	0,253	0,469	0,616

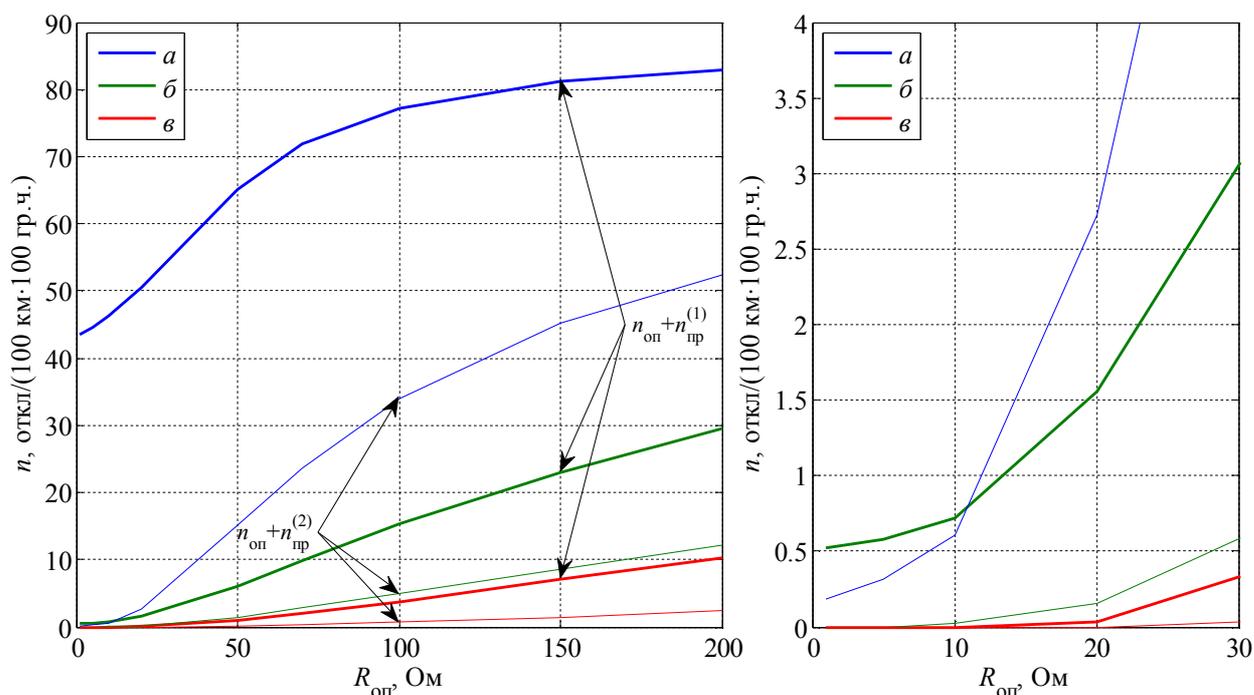


Рисунок А.51 Удельные числа грозвых отключений одноцепной ВЛ 330 кВ на опорах П330-2Т без тросовой защиты при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.51 Удельные числа грозвых отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 330 кВ на опорах П330-2т без тросовой защиты

Вариант защиты	а		б		в					
Число ЗА на опору	0		2		4					
Схема расстановки ЗА										
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору										
R <sub>оп</sub> , Ом	1	5	10	20	50	70	100	150	200	
n <sub>г</sub> , откл./100 км·100 гр.ч) без тросовой защиты										
n <sub>г</sub> <sup>(1)</sup>	а	43,3	44,3	46,0	50,2	65,1	71,8	77,2	81,2	82,8
	б	0,525	0,576	0,720	1,56	6,05	9,85	15,42	23,1	29,5
	в	0	0	0	0,034	0,917	1,91	3,76	7,16	10,3
n <sub>г</sub> <sup>(2)</sup>	а	0,188	0,316	0,615	2,73	15,2	23,6	34,1	45,3	52,4
	б	0	0	0,025	0,153	1,46	2,87	4,93	8,64	12,2
	в	0	0	0	0	0,093	0,280	0,671	1,45	2,47

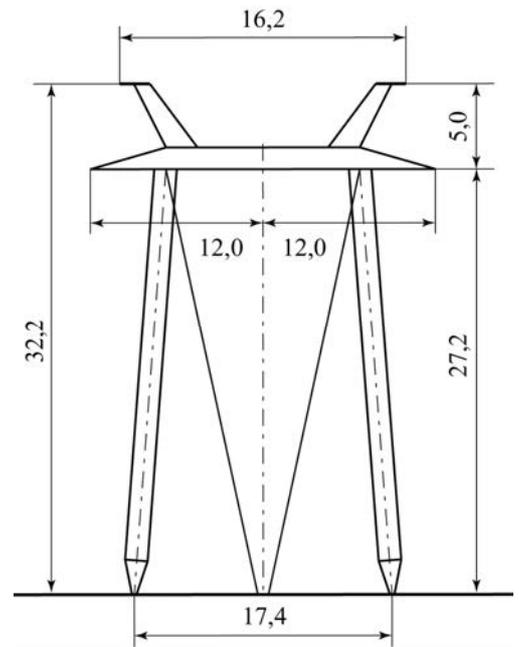
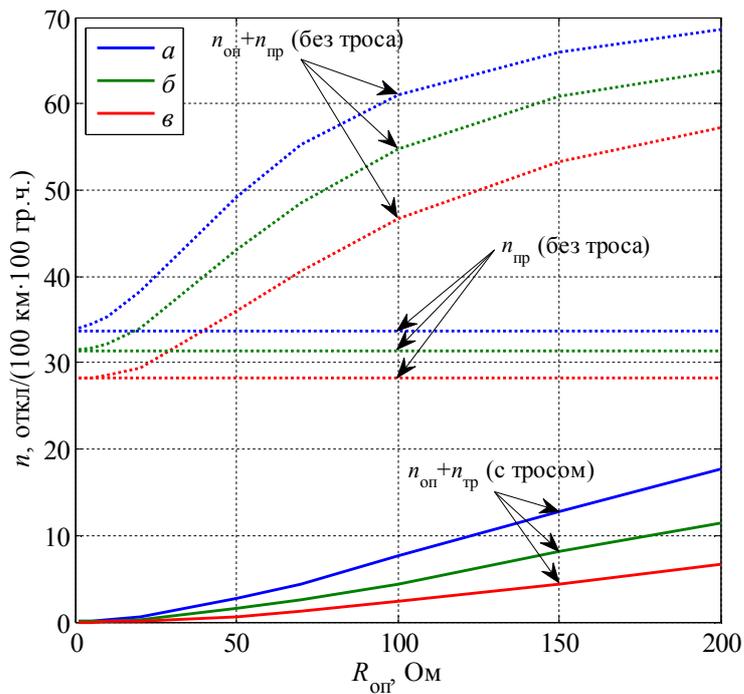


Рисунок А.52 Удельные числа грозвых отключений одноцепной ВЛ 500 кВ на опорах ПБ-1 при различных уровнях линейной изоляции  
 а)  $l_{\text{разр}} = 3,18$  м; б)  $l_{\text{разр}} = 3,81$  м; в)  $l_{\text{разр}} = 4,70$  м

Таблица А.52 Удельные числа грозвых отключений ВЛ 500 кВ на опорах ПБ-1

$R_{\text{оп}}, \text{ Ом}$	1	5	10	20	50	70	100	150	200
$n_{\text{г}}, \text{ откл}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ с тросовой защитой}$									
<i>a</i>	0,743	0,812	0,932	1,28	3,40	5,06	8,38	13,4	18,5
<i>б</i>	0,349	0,368	0,438	0,641	1,83	2,91	4,77	8,44	11,8
<i>в</i>	0,149	0,149	0,161	0,269	0,800	1,43	2,54	4,59	6,86
$n_{\text{г}}, \text{ откл}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ без тросовой защиты}$									
<i>a</i>	34,0	34,4	35,4	38,4	49,2	55,3	61,1	66,0	68,5
<i>б</i>	31,6	31,8	32,2	34,0	43,1	48,5	54,8	60,8	63,8
<i>в</i>	28,2	28,3	28,5	29,4	36,0	40,5	46,7	53,3	57,2

**Примечания.**

- 1) для ВЛ с тросовой защитой удельное число грозвых отключений представляет собой сумму  $n_{\text{г}} = n_{\text{оп}} + n_{\text{тр}} + n_{\text{пр}}$ , для ВЛ без тросовой защиты представляет сумму  $n_{\text{г}} = n_{\text{оп}} + n_{\text{пр}}$ ;
- 2) расчетное удельное число прямых ударов молнии в ВЛ с тросовой защитой  $N = 96 \text{ уд}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч})$ , без тросовой защиты –  $N = 84 \text{ уд}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч})$ ;
- 3) расчетная длина пролета  $\Delta l_{\text{прол}} = 350 \text{ м}$ .

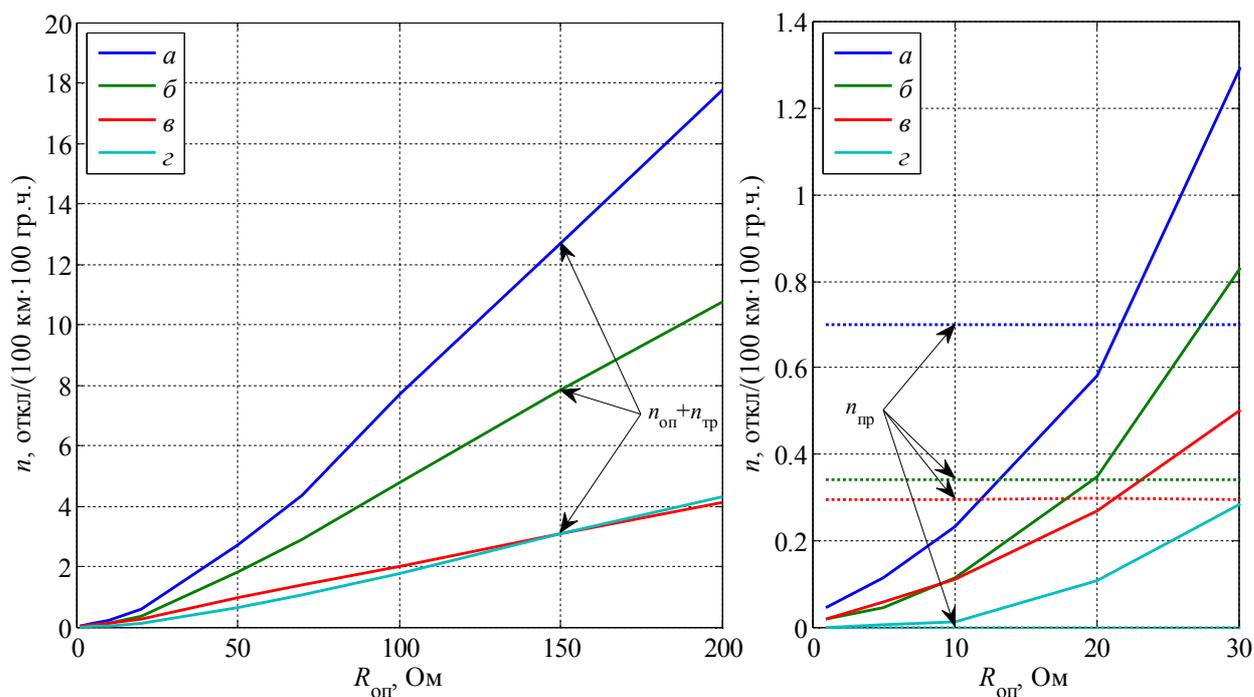


Рисунок А.53 Удельные числа грозвых отключений одноцепной ВЛ 500 кВ на опорах ПБ-1 с тросовой защитой при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.53 Удельные числа грозвых отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 500 кВ на опорах ПБ-1 с тросовой защитой

Вариант защиты	<i>a</i>		<i>б</i>		<i>в</i>		<i>г</i>		
Число ЗА на опору	0		1		1,5		2		
Схема расстановки ЗА									
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору									
<i>a</i>	0,743	0,812	0,932	1,28	3,40	5,06	8,38	13,4	18,5
<i>б</i>	0,361	0,387	0,456	0,689	2,13	3,26	5,12	8,16	11,1
<i>в</i>	0,314	0,352	0,406	0,565	1,26	1,68	2,28	3,37	4,37
<i>г</i>	0	0,0063	0,0126	0,107	0,636	1,04	1,74	3,08	4,33

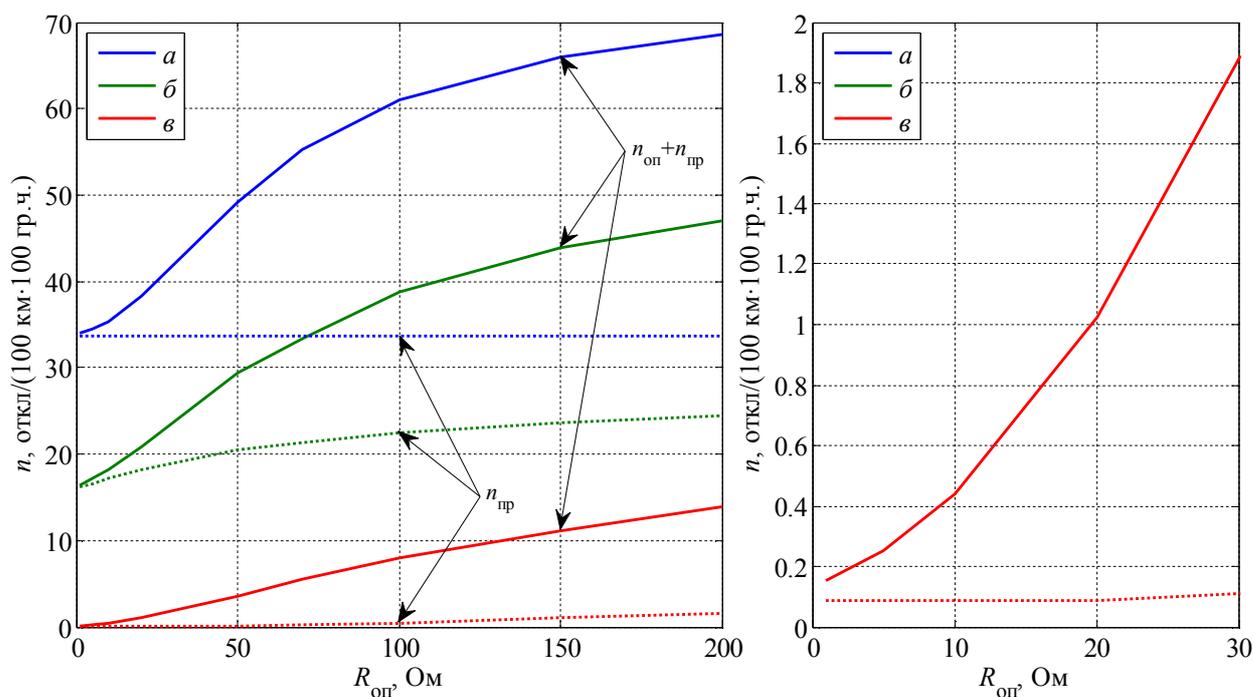
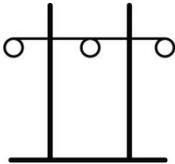
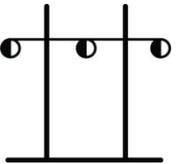
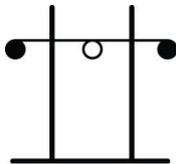


Рисунок А.54 Удельные числа грозных отключений одноцепной ВЛ 500 кВ на опорах ПБ-1 без тросовой защиты при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.54 Удельные числа грозных отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 500 кВ на опорах ПБ-1 без тросовой защиты

Вариант защиты	$a$		$b$		$v$				
Число ЗА на опору	0		1,5		2				
Схема расстановки ЗА									
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору									
$a$	34,0	34,4	35,4	38,4	49,2	55,3	61,1	66,0	68,5
$b$	16,4	17,2	18,2	20,8	29,5	33,4	38,8	43,9	47,1
$v$	0,155	0,253	0,442	1,02	3,60	5,47	8,02	11,2	13,9

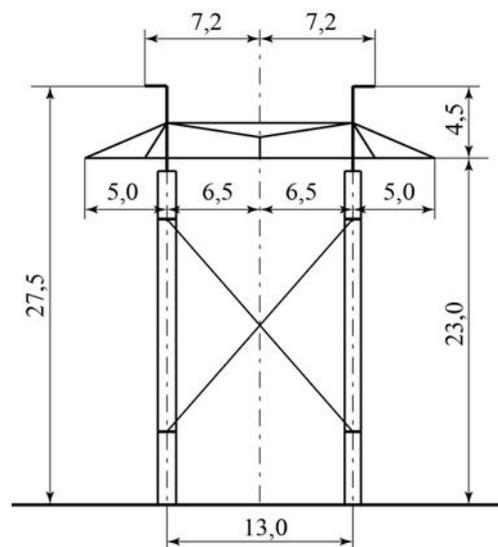
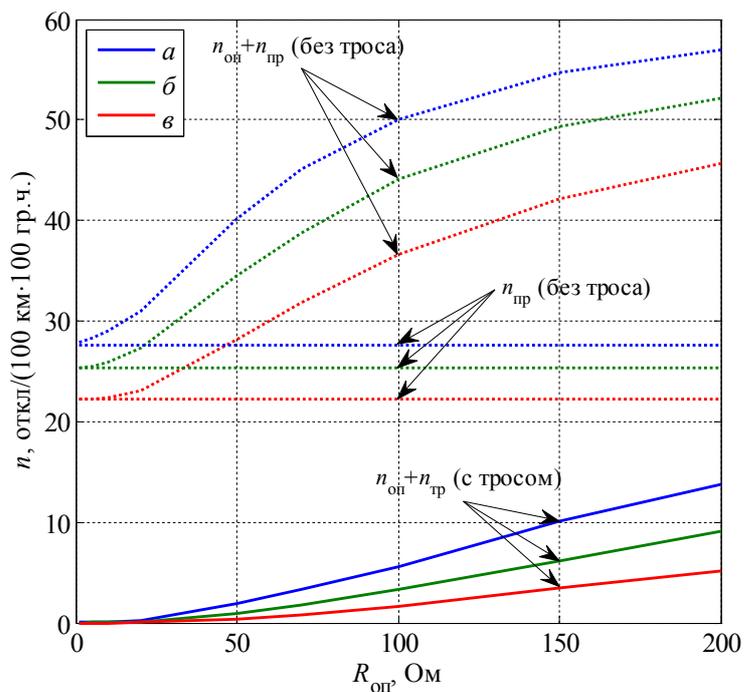


Рисунок А.55 Удельные числа грозвых отключений одноцепной ВЛ 500 кВ на опорах ПБ500-5Н при различных уровнях линейной изоляции  
 а)  $l_{\text{разр}} = 3,18$  м; б)  $l_{\text{разр}} = 3,81$  м; в)  $l_{\text{разр}} = 4,70$  м

Таблица А.55 Удельные числа грозвых отключений ВЛ 500 кВ на опорах ПБ500-5Н

$R_{\text{оп}}, \text{ Ом}$	1	5	10	20	50	70	100	150	200
$n_{\text{г}}, \text{ откл}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ с тросовой защитой}$									
<i>a</i>	0,693	0,723	0,768	0,930	2,54	4,02	6,26	10,7	14,4
<i>б</i>	0,315	0,320	0,354	0,444	1,20	2,13	3,68	6,40	9,46
<i>в</i>	0,138	0,138	0,138	0,177	0,50	0,898	1,82	3,62	5,26
$n_{\text{г}}, \text{ откл}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ без тросовой защиты}$									
<i>a</i>	28,0	28,3	29,0	31,1	40,1	45,1	50,0	54,7	56,9
<i>б</i>	25,4	25,5	25,9	27,3	34,5	38,8	44,1	49,4	52,1
<i>в</i>	22,2	22,2	22,4	23,1	28,1	31,8	36,6	42,2	45,7

**Примечания.**

- 1) для ВЛ с тросовой защитой удельное число грозвых отключений представляет собой сумму  $n_{\text{г}} = n_{\text{оп}} + n_{\text{тр}} + n_{\text{пр}}$ , для ВЛ без тросовой защиты представляет сумму  $n_{\text{г}} = n_{\text{оп}} + n_{\text{пр}}$ ;
- 2) расчетное удельное число прямых ударов молнии в ВЛ с тросовой защитой  $N = 88 \text{ уд}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч})$ , без тросовой защиты –  $N = 72 \text{ уд}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч})$ ;
- 3) расчетная длина пролета  $\Delta l_{\text{прол}} = 350 \text{ м}$ .

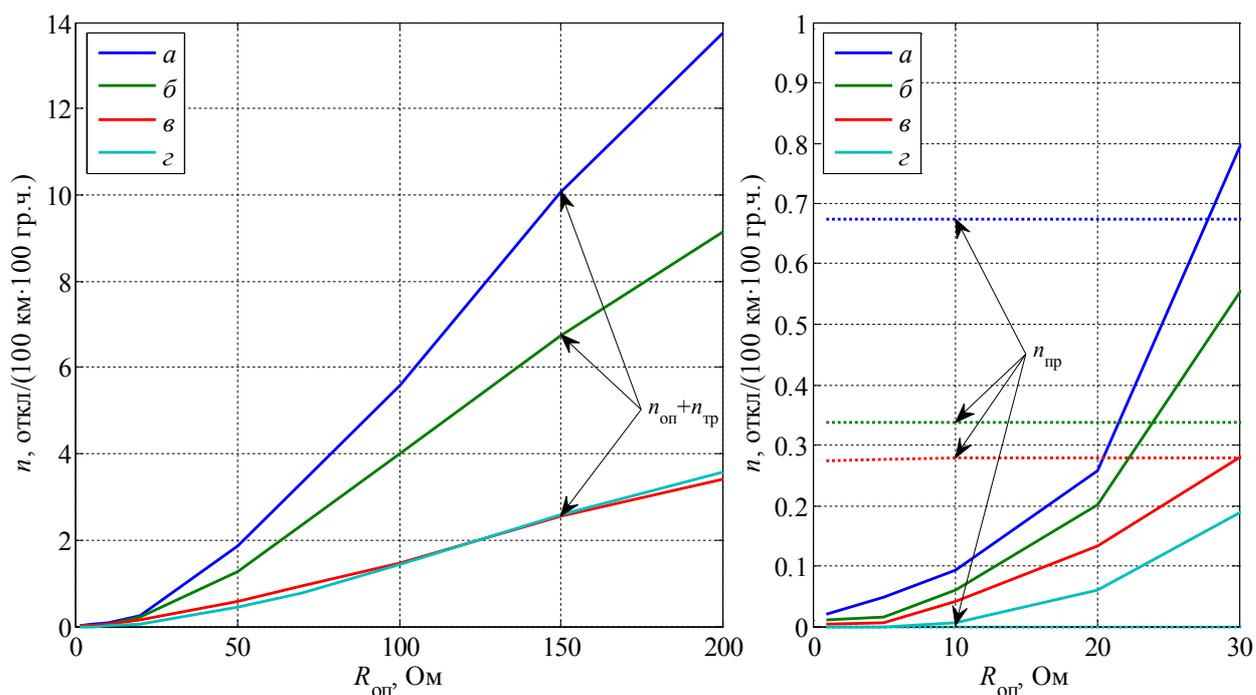


Рисунок А.56 Удельные числа грозвых отключений одноцепной ВЛ 500 кВ на опорах ПБ500-5Н с тросовой защитой при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.56 Удельные числа грозвых отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 500 кВ на опорах ПБ500-5Н с тросовой защитой

Вариант защиты	а		б		в		з		
Число ЗА на опору	0		1		1,5		2		
Схема расстановки ЗА									
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору									
а	0,693	0,723	0,768	0,930	2,54	4,02	6,26	10,7	14,4
б	0,348	0,353	0,397	0,539	1,59	2,70	4,35	7,10	9,49
в	0,277	0,281	0,320	0,413	0,846	1,20	1,74	2,80	3,64
з	0	0	0,0049	0,059	0,447	0,762	1,44	2,58	3,59

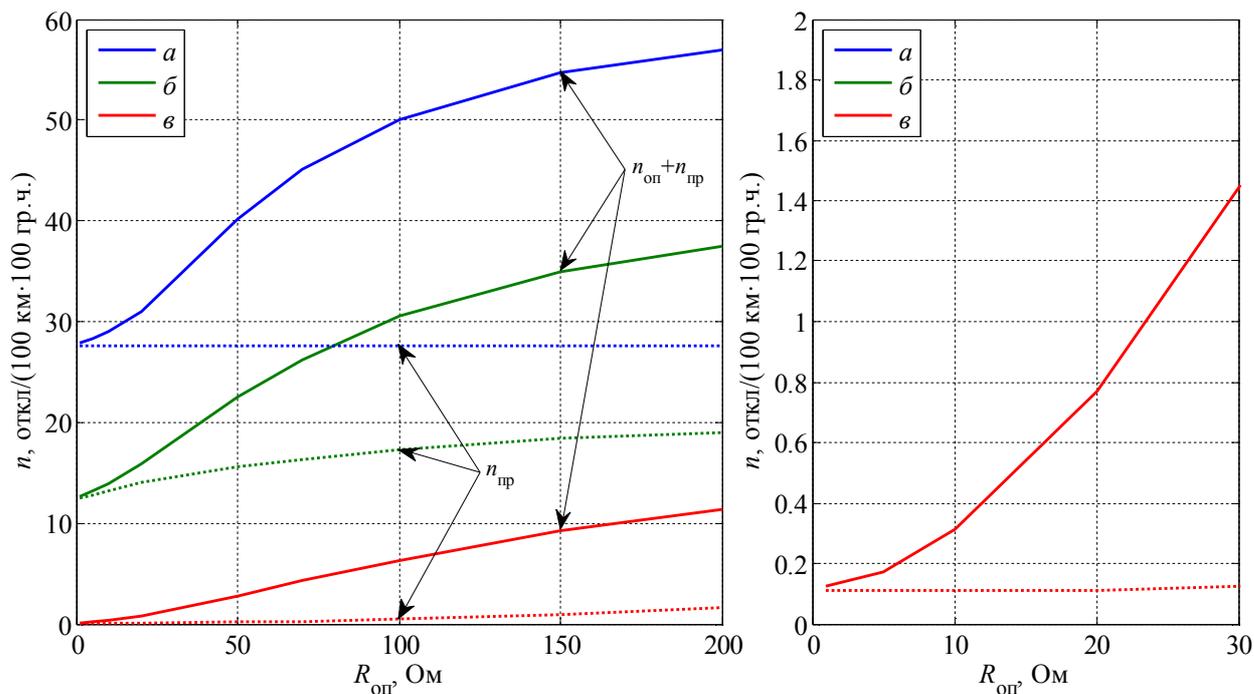


Рисунок А.57 Удельные числа грозных отключений одноцепной ВЛ 500 кВ на опорах ПБ500-5Н без тросовой защиты при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.57 Удельные числа грозных отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 500 кВ на опорах ПБ500-5Н без тросовой защиты

Вариант защиты	<i>a</i>		<i>б</i>		<i>в</i>				
Число ЗА на опору	0		1,5		2				
Схема расстановки ЗА									
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору									
<i>a</i>	28,0	28,3	29,0	31,1	40,1	45,1	50,0	54,7	56,9
<i>б</i>	12,6	13,2	13,9	15,9	22,5	26,1	30,5	35,0	37,6
<i>в</i>	0,125	0,171	0,314	0,768	2,7	4,36	6,33	9,27	11,4

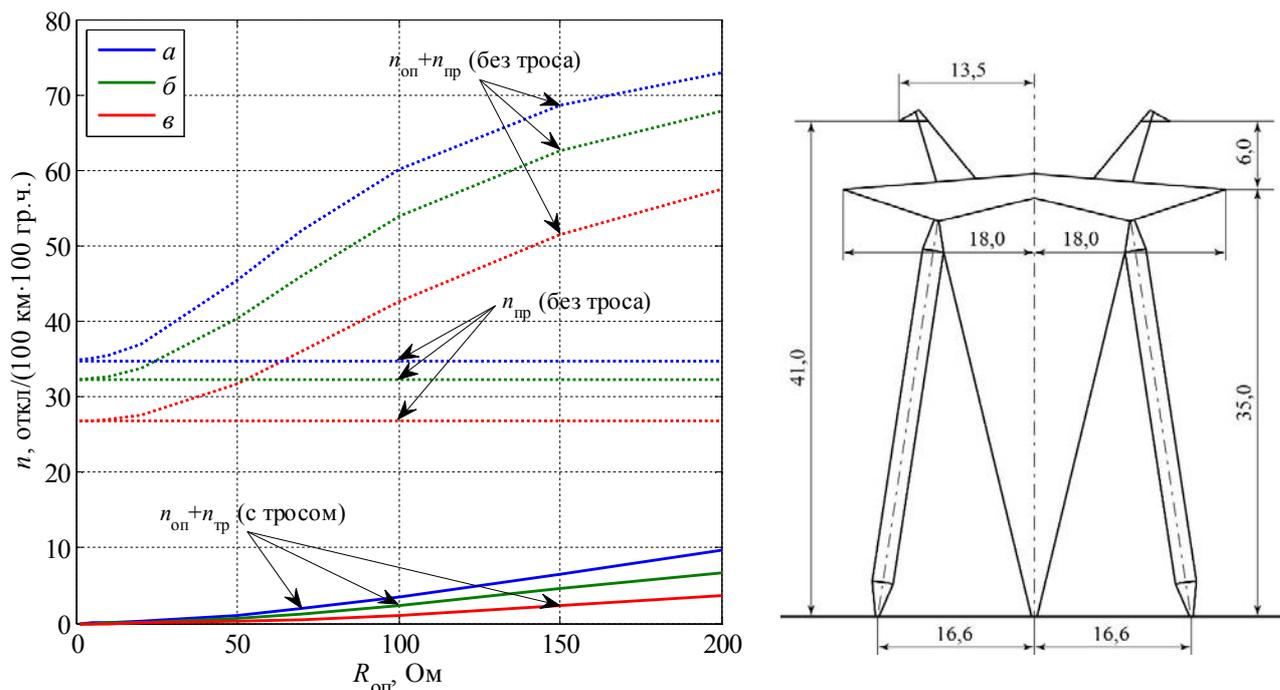


Рисунок А.58 Удельные числа грозвых отключений одноцепной ВЛ 750 кВ на опорах ПП750-1 при различных уровнях линейной изоляции  
 а)  $l_{\text{разр}} = 5,08$  м; б)  $l_{\text{разр}} = 5,72$  м; в)  $l_{\text{разр}} = 6,99$  м

Таблица А.58 Удельные числа грозвых отключений ВЛ 750 кВ на опорах ПП750-1

$R_{\text{оп}}, \text{ Ом}$	1	5	10	20	50	70	100	150	200
$n_{\text{г}}, \text{ откл}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ с тросовой защитой}$									
<i>a</i>	0,941	0,956	0,986	1,13	1,99	2,87	4,51	7,48	10,6
<i>б</i>	0,462	0,462	0,470	0,570	1,04	1,71	2,84	5,11	7,19
<i>в</i>	0,146	0,146	0,146	0,154	0,393	0,623	1,22	2,43	3,83
$n_{\text{г}}, \text{ откл}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ без тросовой защиты}$									
<i>a</i>	34,9	35,1	35,5	37,0	45,5	52,0	60,1	68,8	73,0
<i>б</i>	32,3	32,4	32,7	33,7	40,4	46,0	54,0	62,6	67,9
<i>в</i>	26,9	26,9	27,0	27,5	31,6	36,0	42,7	51,5	57,5

**Примечания.**

- 1) для ВЛ с тросовой защитой удельное число грозвых отключений представляет собой сумму  $n_{\text{г}} = n_{\text{оп}} + n_{\text{тр}} + n_{\text{пр}}$ , для ВЛ без тросовой защиты представляет сумму  $n_{\text{г}} = n_{\text{оп}} + n_{\text{пр}}$ ;
- 2) расчетное удельное число прямых ударов молнии в ВЛ с тросовой защитой  $N = 105 \text{ уд}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч})$ , без тросовой защиты –  $N = 99 \text{ уд}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч})$ ;
- 3) расчетная длина пролета  $\Delta l_{\text{прол}} = 400 \text{ м}$ .

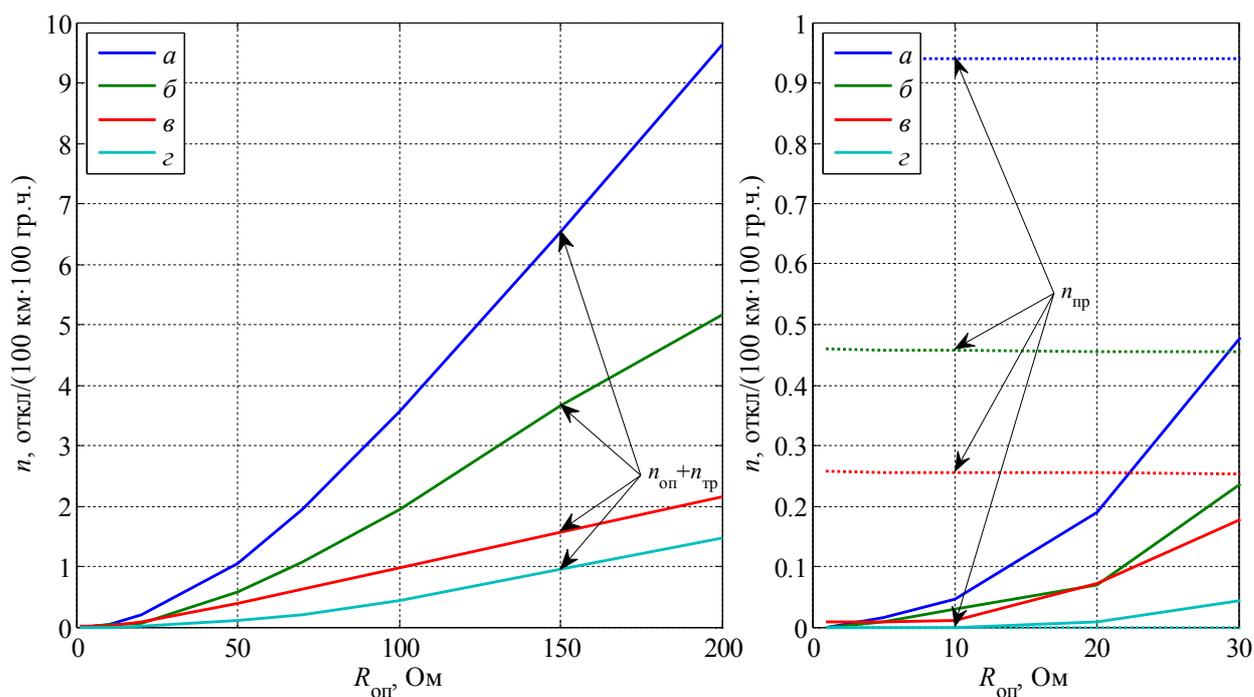


Рисунок А.59 Удельные числа грозвых отключений одноцепной ВЛ 750 кВ на опорах ПП750-1 с тросовой защитой при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.59 Удельные числа грозвых отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 750 кВ на опорах ПП750-1 с тросовой защитой

Вариант защиты	а		б		в		з		
Число ЗА на опору	0		1		1,5		2		
Схема расстановки ЗА									
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору									
а	0,941	0,956	0,986	1,13	1,99	2,87	4,51	7,48	10,6
б	0,459	0,466	0,488	0,525	1,02	1,53	2,39	4,12	5,62
в	0,265	0,264	0,268	0,328	0,638	0,880	1,22	1,79	2,36
з	0	0	0	0,0076	0,114	0,190	0,429	0,952	1,47

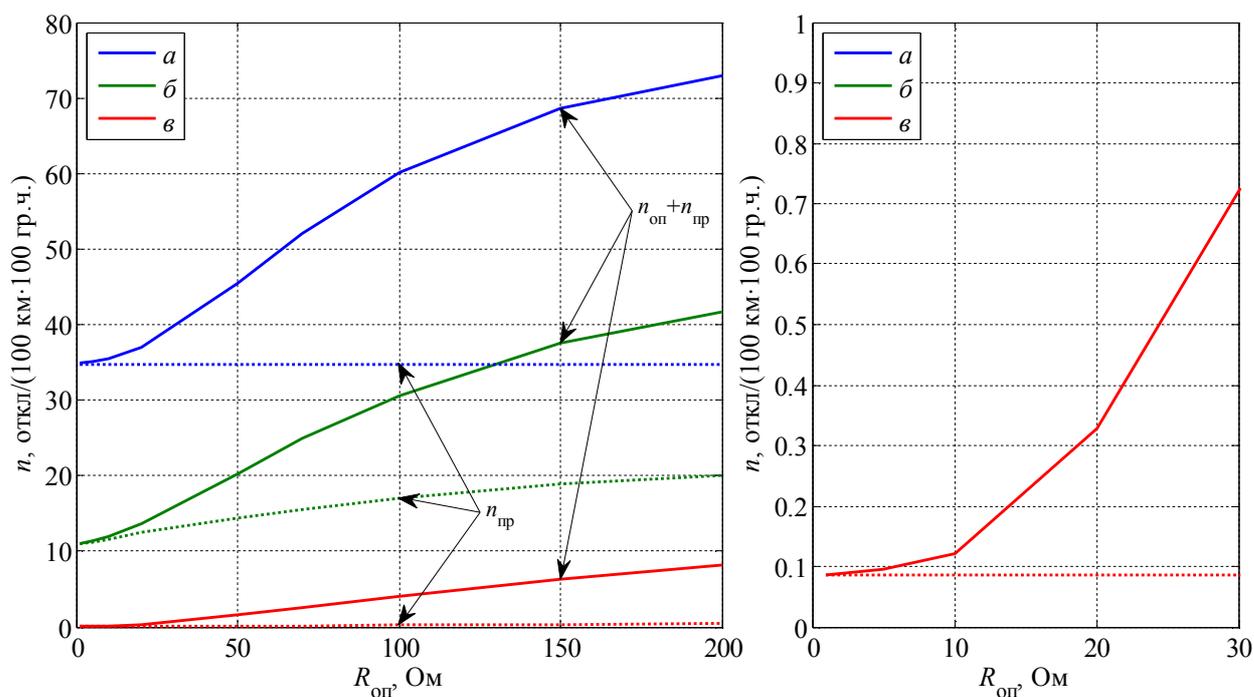


Рисунок А.60 – Удельные числа грозовых отключений одноцепной ВЛ 750 кВ на опорах ПП750-1 без тросовой защиты при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.60 Удельные числа грозовых отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 750 кВ на опорах ПП750-1 без тросовой защиты

Вариант защиты	<i>a</i>				<i>б</i>			<i>в</i>	
Число ЗА на опору	0				1,5			2	
Схема расстановки ЗА									
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору									
<i>a</i>	34,9	35,1	35,5	37,0	45,5	52,0	60,1	68,6	73,0
<i>б</i>	11,1	11,3	12,0	13,6	20,3	24,9	30,6	37,5	41,6
<i>в</i>	0,086	0,095	0,122	0,328	1,51	2,45	4,10	6,29	8,24

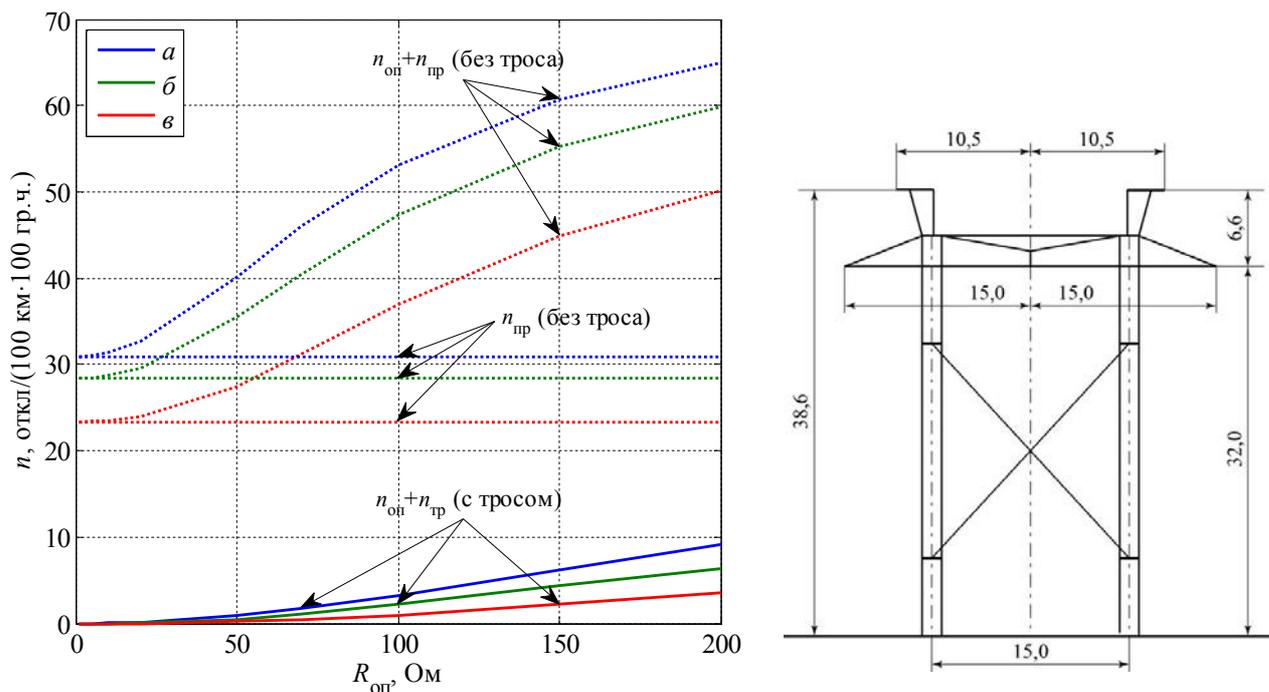


Рисунок А.61 Удельные числа грозовых отключений одноцепной ВЛ 750 кВ на опорах ПБ750-3 при различных уровнях линейной изоляции  
 а)  $l_{\text{разр}} = 5,08$  м; б)  $l_{\text{разр}} = 5,72$  м; в)  $l_{\text{разр}} = 6,99$  м

Таблица А.61 Удельные числа грозовых отключений ВЛ 750 кВ на опорах ПБ750-3

$R_{\text{оп}}, \text{ Ом}$	1	5	10	20	50	70	100	150	200
$n_{\text{г}}, \text{ откл./}(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ с тросовой защитой}$									
<i>a</i>	0,333	0,333	0,347	0,486	1,21	2,09	3,62	6,46	9,48
<i>б</i>	0,186	0,186	0,186	0,242	0,664	1,28	2,38	4,51	6,48
<i>в</i>	0,075	0,075	0,075	0,075	0,284	0,498	1,02	2,24	3,57
$n_{\text{г}}, \text{ откл./}(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч}) \text{ без тросовой защиты}$									
<i>a</i>	30,9	31,1	31,4	32,7	40,1	46,0	53,2	60,8	65,0
<i>б</i>	28,4	28,5	28,7	29,6	35,4	40,4	47,4	55,2	59,9
<i>в</i>	23,4	23,4	23,5	23,9	27,4	31,2	36,9	44,9	50,1

**Примечания.**

- 1) для ВЛ с тросовой защитой удельное число грозовых отключений представляет собой сумму  $n_{\text{г}} = n_{\text{оп}} + n_{\text{тр}} + n_{\text{пр}}$ , для ВЛ без тросовой защиты представляет сумму  $n_{\text{г}} = n_{\text{оп}} + n_{\text{пр}}$ ;
- 2) расчетное удельное число прямых ударов молнии в ВЛ с тросовой защитой  $N = 101 \text{ уд}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч})$ , без тросовой защиты –  $N = 90 \text{ уд}/(100 \text{ км} \cdot 100 \text{ гр.ч})$ ;
- 3) расчетная длина пролета  $\Delta l_{\text{прол}} = 400 \text{ м}$ .

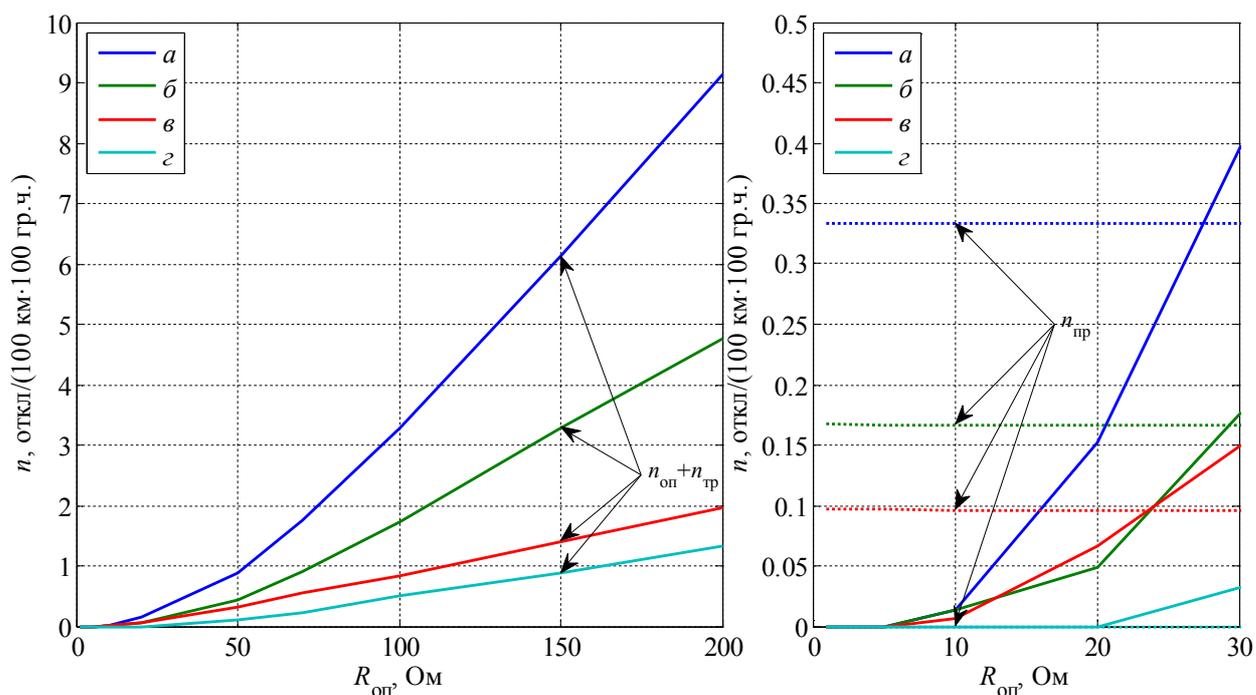


Рисунок А.62 Удельные числа грозвых отключений одноцепной ВЛ 750 кВ на опорах ПБ750-3 с тросовой защитой при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.62 Удельные числа грозвых отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 750 кВ на опорах ПБ750-3 с тросовой защитой

Вариант защиты	а		б		в		г		
Число ЗА на опору	0		1		1,5		2		
Схема расстановки ЗА									
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору									
а	0,333	0,333	0,347	0,486	1,21	2,09	3,62	6,46	9,48
б	0,167	0,167	0,181	0,215	0,596	1,070	1,89	3,45	4,93
в	0,097	0,097	0,103	0,162	0,410	0,639	0,93	1,49	2,04
г	0	0	0	0	0,097	0,220	0,514	0,871	1,32

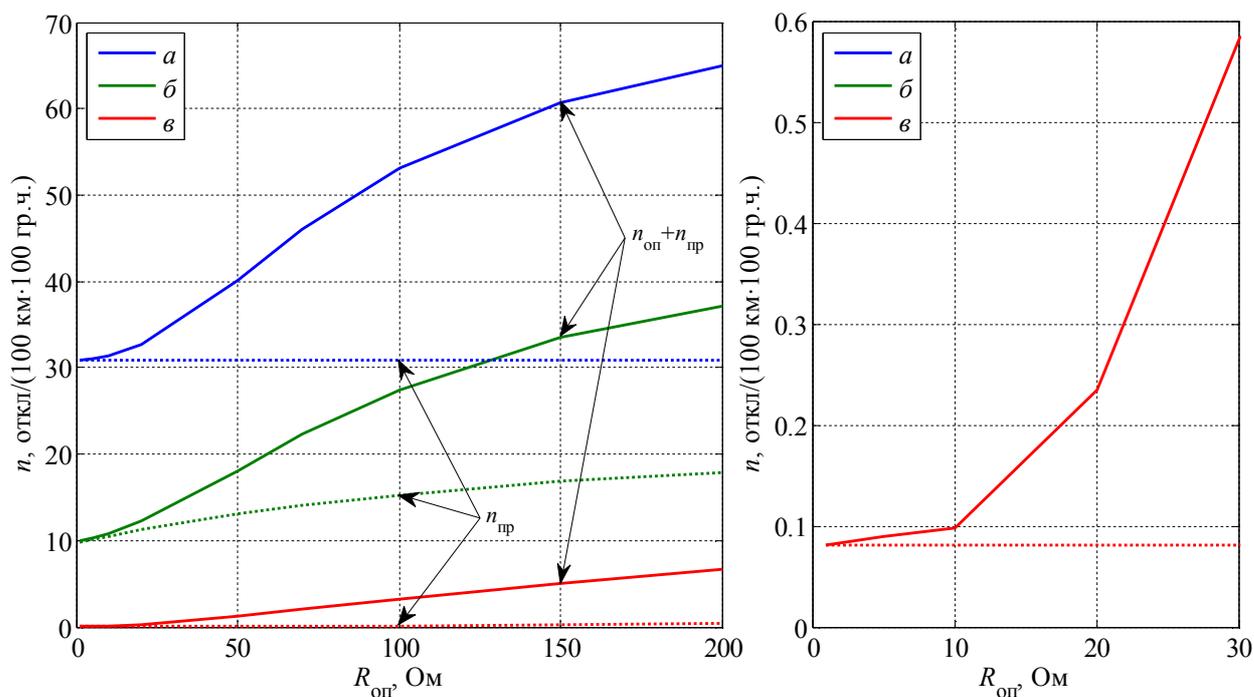


Рисунок А.63 Удельные числа грозных отключений одноцепной ВЛ 750 кВ на опорах ПБ750-3 без тросовой защиты при различных схемах расстановки ЗА

Таблица А.63 Удельные числа грозных отключений при различных схемах расстановки ЗА на ВЛ 750 кВ на опорах ПБ750-3 без тросовой защиты

Вариант защиты	<i>a</i>		<i>б</i>		<i>в</i>				
Число ЗА на опору	0		1,5		2				
Схема расстановки ЗА									
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору									
<i>a</i>	30,9	31,1	31,4	32,7	40,1	46,0	53,2	60,8	65,0
<i>б</i>	9,94	10,3	10,8	12,2	18,0	22,3	27,5	33,5	37,2
<i>в</i>	0,081	0,089	0,098	0,236	1,28	1,98	3,22	5,02	6,74

**Справочные данные по интегральным распределениям вероятностей энергий в защитных аппаратах 35–750 кВ**

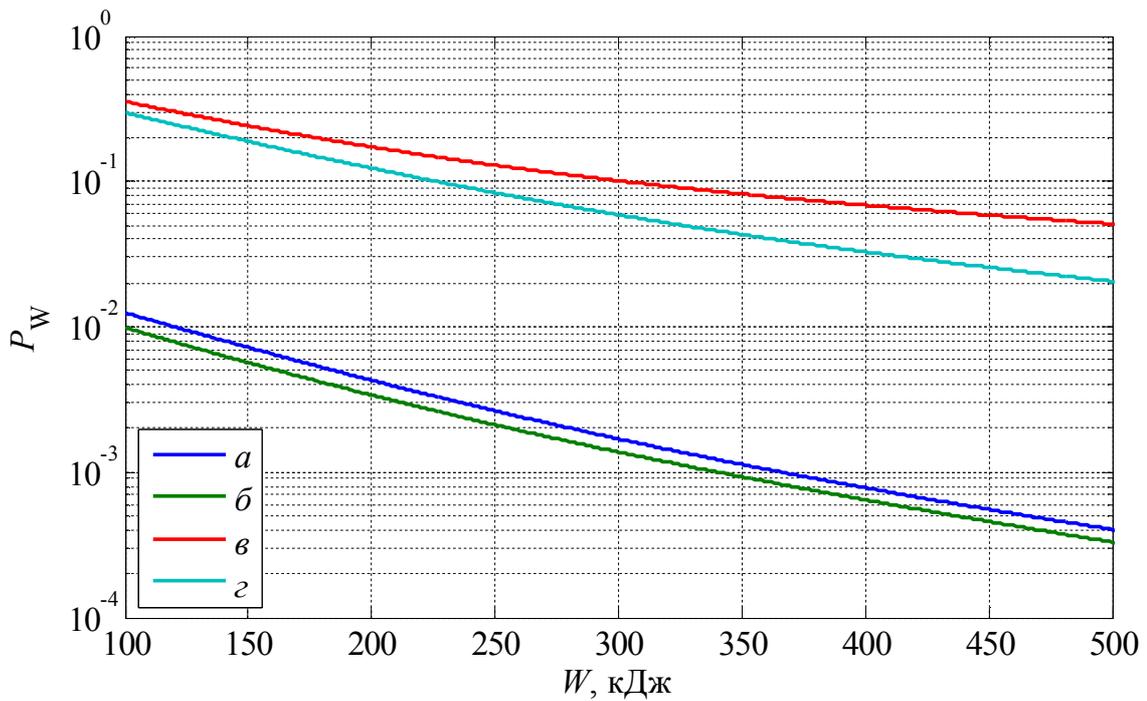


Рисунок Б.1 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на одноцепных одно-стоечных опорах ВЛ 35 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 10 Ом

Таблица Б.1 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий в ЗА при сопротивлении ЗУ опор 10 Ом

Вариант схемы	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>
Наличие троса	+		-	
Число ЗА на опору	2	3	1	3
Схема расстановки ЗА				
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору				
Параметры аппроксимации	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$
<i>a</i>	0.03619	-0.01301	0.004415	-0.00507
<i>б</i>	0.02793	-0.0142	0.005607	-0.005806
<i>в</i>	0.7155	-0.01087	0.14	-0.002144
<i>г</i>	0.711	-0.01099	0.08177	-0.003066

Примечания.

1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_w(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;

2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 100 до 1000 кДж.

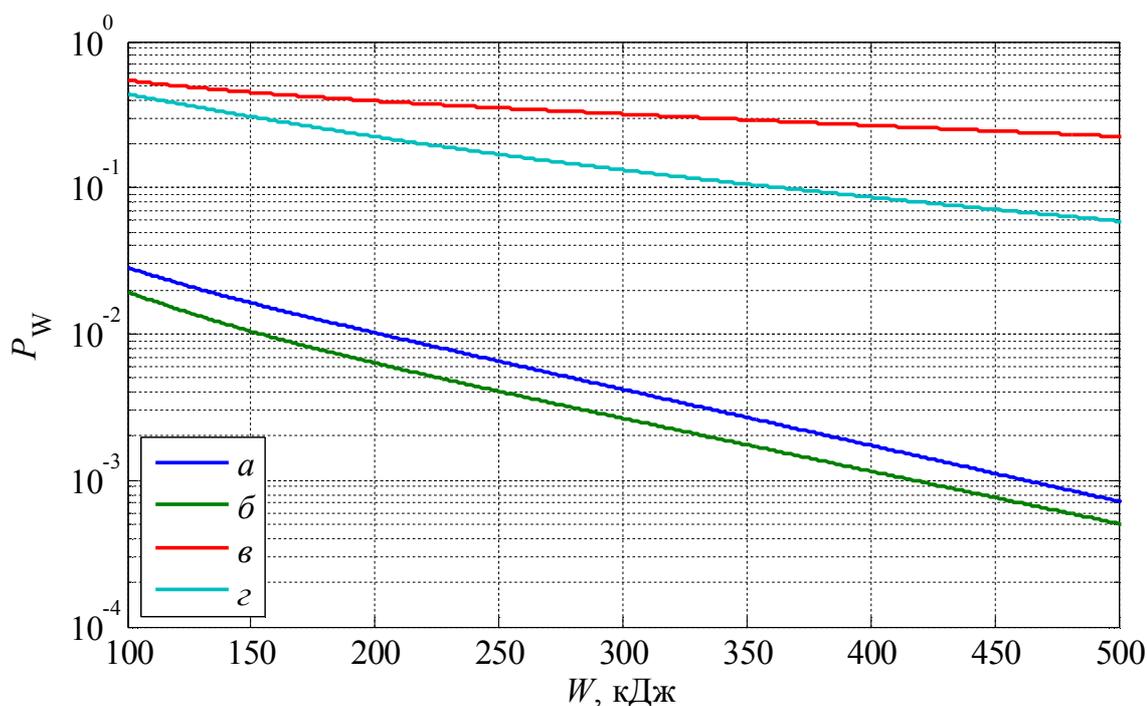


Рисунок Б.2 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на одноцепных одно-  
стоечных опорах ВЛ 35 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 50 Ом

Таблица Б.2 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий в  
ЗА при сопротивлении ЗУ опор 50 Ом

Вариант схемы	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>
Наличие троса	+		-	
Число ЗА на опору	2	3	1	3
Схема расстановки ЗА				
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору				
Параметры аппроксимации	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$
<i>a</i>	0.1545	-0.03611	0.05863	-0.008803
<i>б</i>	0.03137	-0.008256	0.1077	-0.02925
<i>в</i>	0.5767	-0.01809	0.5323	-0.00173
<i>г</i>	0.7189	-0.01172	0.2994	-0.003312

Примечания.

- 1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_w(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;
- 2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 100 до 1000 кДж.

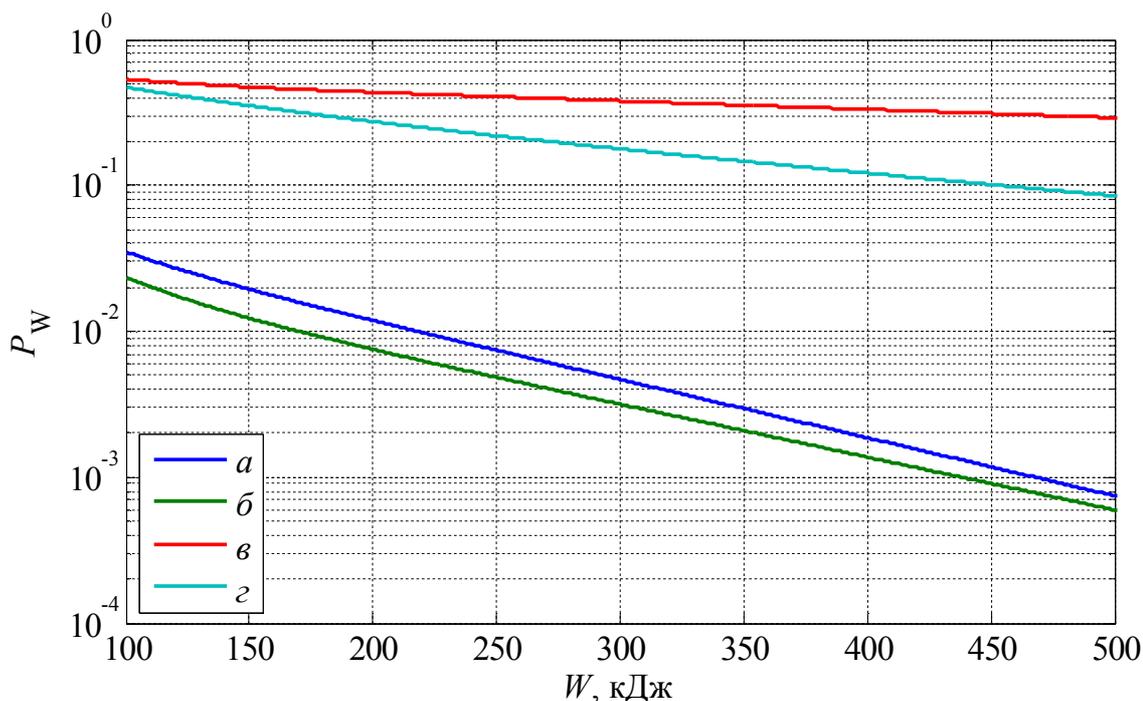
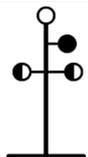


Рисунок Б.3 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на одноцепных одно-стоечных опорах ВЛ 35 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 100 Ом

Таблица Б.3 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий в ЗА при сопротивлении ЗУ опор 100 Ом

Вариант схемы	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>
Наличие троса	+		-	
Число ЗА на опору	2	3	1	3
Схема расстановки ЗА				
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору				
Параметры аппроксимации	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$
<i>a</i>	0.2359	-0.03725	0.07353	-0.009186
<i>б</i>	0.03835	-0.008325	0.1761	-0.03274
<i>в</i>	0.6733	-0.02783	0.5635	-0.001323
<i>г</i>	0.4939	-0.0131	0.4769	-0.003475

Примечания.

- 1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_w(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;
- 2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 100 до 1000 кДж.

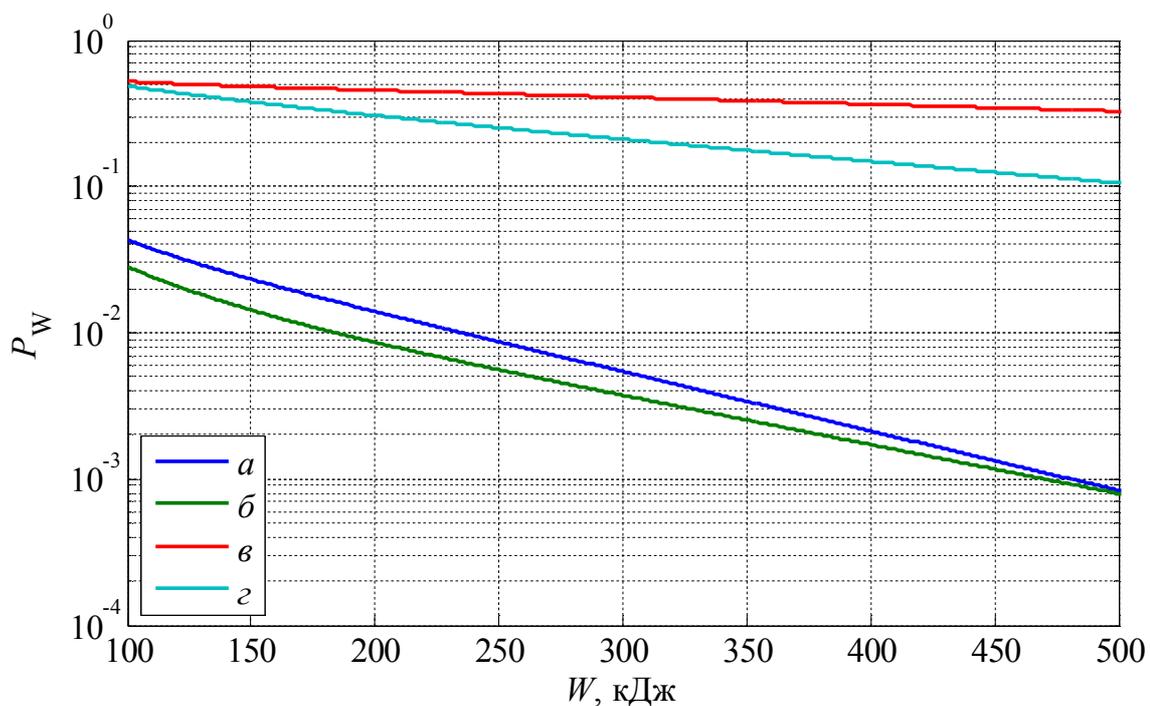


Рисунок Б.4 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на одноцепных одно-стоечных опорах ВЛ 35 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 200 Ом

Таблица Б.4 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий в ЗА при сопротивлении ЗУ опор 200 Ом

Вариант схемы	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>
Наличие троса	+		-	
Число ЗА на опору	2	3	1	3
Схема расстановки ЗА				
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору				
Параметры аппроксимации	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$
<i>a</i>	0.3719	-0.0385	0.08965	-0.009351
<i>б</i>	0.03735	-0.0077	0.2049	-0.02932
<i>в</i>	0.8469	-0.0396	0.5661	-0.001098
<i>г</i>	0.411	-0.01691	0.5753	-0.003396

Примечания.

1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_w(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;

2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 100 до 1000 кДж.

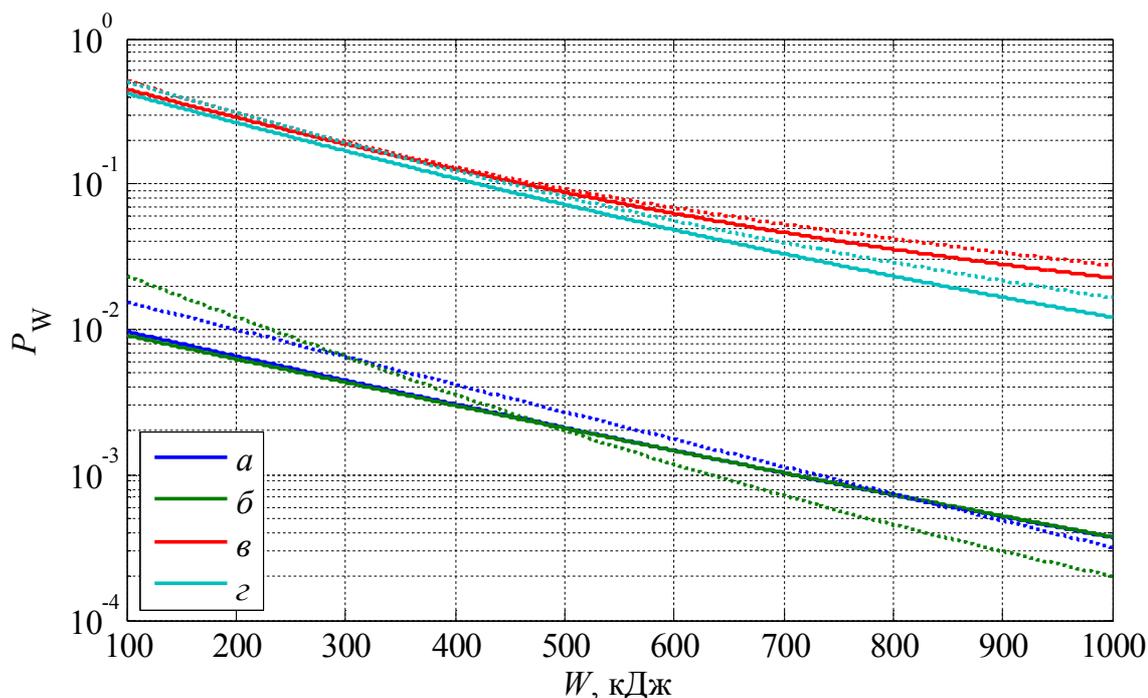


Рисунок Б.5 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на одноцепных одно-стоечных опорах ВЛ 110 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 10 Ом

Таблица Б.5 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий в ЗА при сопротивлении ЗУ опор 10 Ом

Вариант схемы	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>				
Наличие троса	+			-				
Число ЗА на опору	2	3	1	3				
Схема расстановки ЗА								
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору								
Параметры аппроксимации	для ЛО				для ЛР			
	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$
<i>a</i>	0.01187	-0.004285	0.002523	-0.002498	0.024	-0.004384	5.713e-05	-0.00115
<i>б</i>	0.01185	-0.003956	0.001408	-0.002254	0.04207	-0.006953	0.003211	-0.00299
<i>в</i>	0.6399	-0.005093	0.07575	-0.001397	0.7391	-0.006715	0.1687	-0.001845
<i>г</i>	0.6015	-0.005083	0.07343	-0.002163	0.7409	-0.00581	0.1183	-0.002109

Примечания.

- 1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_w(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;
- 2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 200 до 2000 кДж;
- 3) на рисунке сплошными линиями показаны значения  $P_w$  для ЛО, штриховыми – для ЛР.

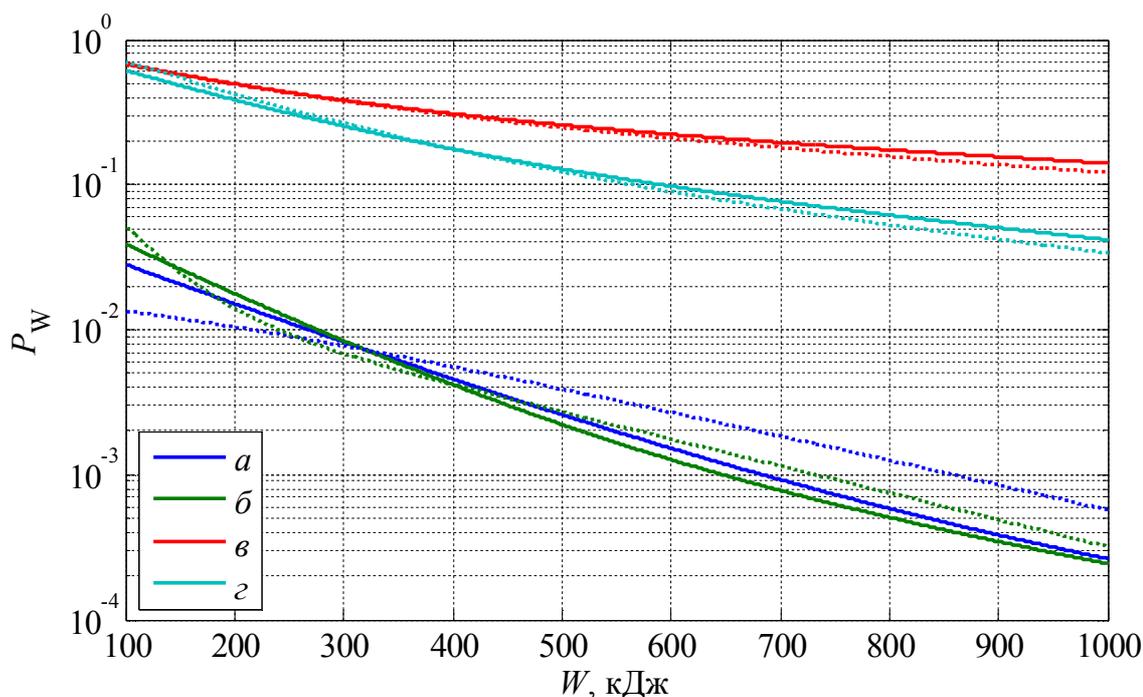


Рисунок Б.6 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на одноцепных одно-стоечных опорах ВЛ 110 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 50 Ом

Таблица Б.6 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий в ЗА при сопротивлении ЗУ опор 50 Ом

Вариант схемы	а		б		в		г	
Наличие троса	+				-			
Число ЗА на опоре	2		3		1		3	
Схема расстановки ЗА								
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору								
Параметры аппроксимации	для ЛО				для ЛР			
	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$
а	0.05083	-0.006516	0.002218	-0.002469	0.03616	-0.004098	-0.02039	-0.006581
б	0.08311	-0.008466	0.00458	-0.003007	0.3235	-0.02157	0.02295	-0.004275
в	0.632	-0.005729	0.3574	-0.0009474	0.5915	-0.005577	0.3789	-0.001159
г	0.81	-0.006314	0.2197	-0.001696	1.023	-0.006567	0.2192	-0.001905

Примечания.

- 1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_w(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;
- 2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 200 до 2000 кДж;
- 3) на рисунке сплошными линиями показаны значения  $P_w$  для ЛО, штриховыми – для ЛР.

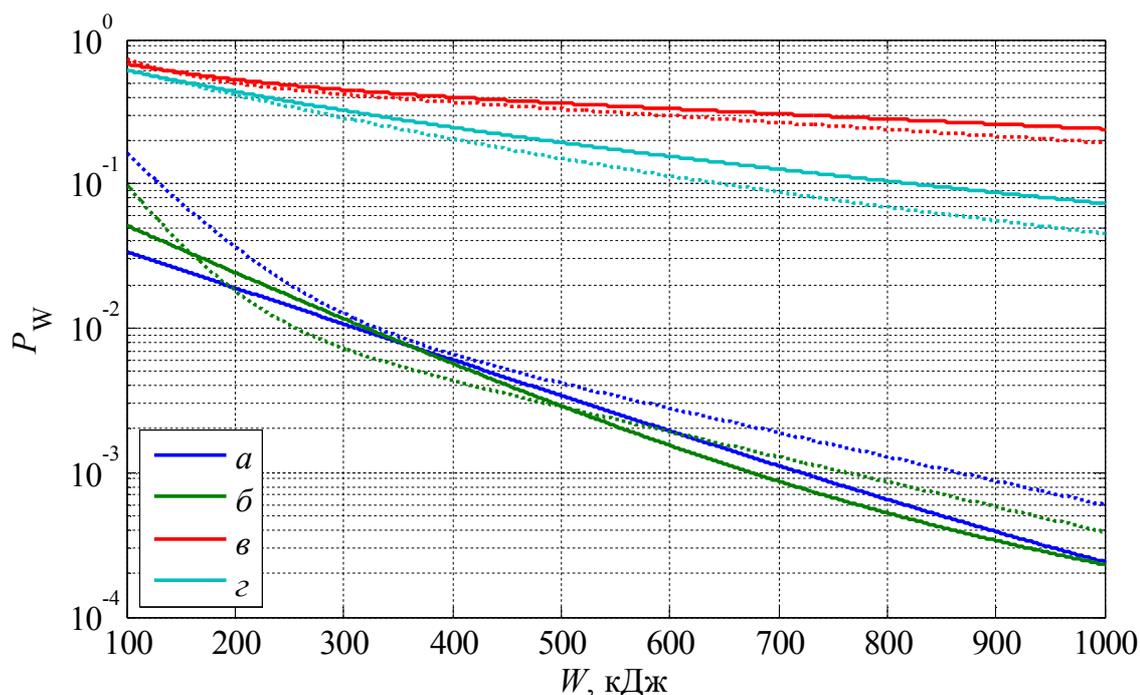


Рисунок Б.7 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на одноцепных одно-стоечных опорах ВЛ 110 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 100 Ом

Таблица Б.7 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий в ЗА при сопротивлении ЗУ опор 100 Ом

Вариант схемы	а		б		в		г	
Наличие троса	+				-			
Число ЗА на опору	2		3		1		3	
Схема расстановки ЗА								
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору								
Параметры аппроксимации	для ЛО				для ЛР			
	A <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	T <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	T <sub>2</sub>
а	0.0606	-0.005808	0.0001491	-0.0009257	0.8879	-0.01806	0.02765	-0.003833
б	0.1082	-0.007759	0.002421	-0.002577	0.8115	-0.02259	0.02093	-0.003985
в	0.4702	-0.009229	0.5329	-0.0007993	1.128	-0.0159	0.5626	-0.00107
г	0.5327	-0.005497	0.3575	-0.001618	0.7186	-0.005141	0.2209	-0.001679

Примечания.

- 1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_W(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;
- 2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 200 до 2000 кДж;
- 3) на рисунке сплошными линиями показаны значения  $P_W$  для ЛО, штриховыми – для ЛР.

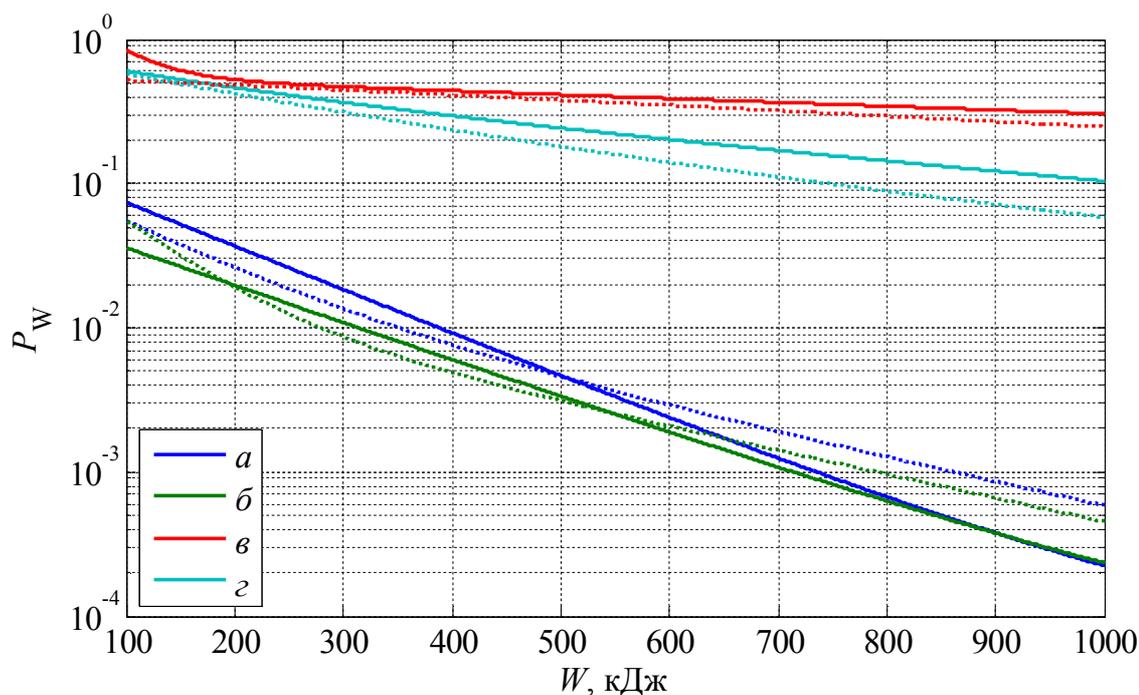


Рисунок Б.8 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на одноцепных одно-стоечных опорах ВЛ 110 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 200 Ом

Таблица Б.8 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий в ЗА при сопротивлении ЗУ опор 200 Ом

Вариант схемы	<i>a</i>		<i>б</i>		<i>в</i>		<i>г</i>	
Наличие троса	+				-			
Число ЗА на опору	2		3		1		3	
Схема расстановки ЗА								
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опоры								
Параметры аппроксимации	для ЛО				для ЛР			
	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$
<i>a</i>	0.1489	-0.007027	0.0006185	-0.001902	0.02536	-0.003776	0.1021	-0.009777
<i>б</i>	0.06496	-0.006027	0.0003934	-0.001621	0.1841	-0.0146	0.01984	-0.003778
<i>в</i>	0.5616	-0.0006129	3.454	-0.02379	-69.84	-0.001227	70.4	-0.001223
<i>г</i>	0.3394	-0.005487	0.476	-0.001535	0.5755	-0.003999	0.2197	-0.001518

Примечания.

- 1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_w(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;
- 2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 200 до 2000 кДж;
- 3) на рисунке сплошными линиями показаны значения  $P_w$  для ЛО, штриховыми – для ЛР.

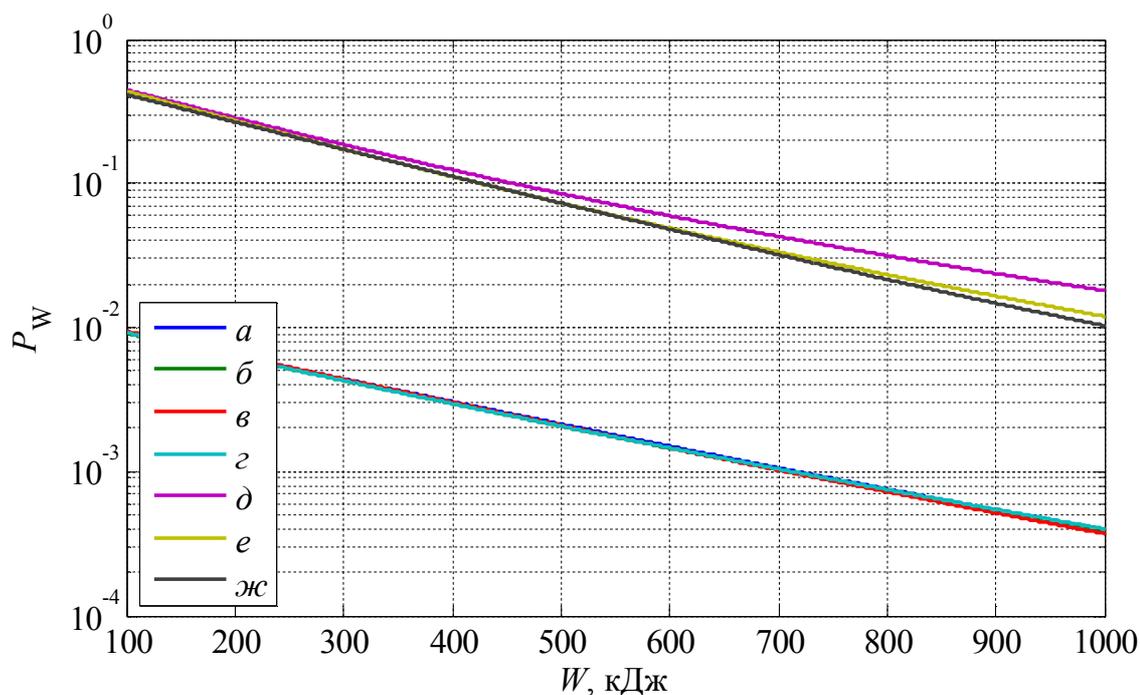


Рисунок Б.9 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на двухцепных одно-  
стоечных опорах ВЛ 110 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 10 Ом

Таблица Б.9 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий в  
ЗА при сопротивлении ЗУ опор 10 Ом

Вариант защиты	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	<i>е</i>	<i>ж</i>	
Наличие троса	+				-			
Число ЗА на опору	3	4	4	6	2	4	6	
Схема расстановки ЗА								
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опоры								
Параметры аппроксимации	для ЛО				для ЛР			
	<i>A</i> <sub>1</sub>	<i>T</i> <sub>1</sub>	<i>A</i> <sub>2</sub>	<i>T</i> <sub>2</sub>	<i>A</i> <sub>1</sub>	<i>T</i> <sub>1</sub>	<i>A</i> <sub>2</sub>	<i>T</i> <sub>2</sub>
<i>a</i>	0.01277	-0.003837	0.0005765	-0.00157	0.01277	-0.003837	0.0005765	-0.00157
<i>б</i>	0.01211	-0.0041	0.001372	-0.001956	0.01211	-0.0041	0.001372	-0.001956
<i>в</i>	0.01049	-0.004363	0.003495	-0.00269	0.01049	-0.004363	0.003495	-0.00269
<i>г</i>	0.009269	-0.00473	0.004531	-0.002655	0.009269	-0.00473	0.004531	-0.002655
<i>д</i>	0.5833	-0.005397	0.136	-0.002176	0.5833	-0.005397	0.136	-0.002176
<i>е</i>	0.612	-0.00526	0.0972	-0.002401	0.612	-0.00526	0.0972	-0.002401
<i>ж</i>	0.635	-0.004489	0.01104	-0.001242	0.635	-0.004489	0.01104	-0.001242

Примечания.

- 1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_w(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;
- 2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 200 до 2000 кДж.

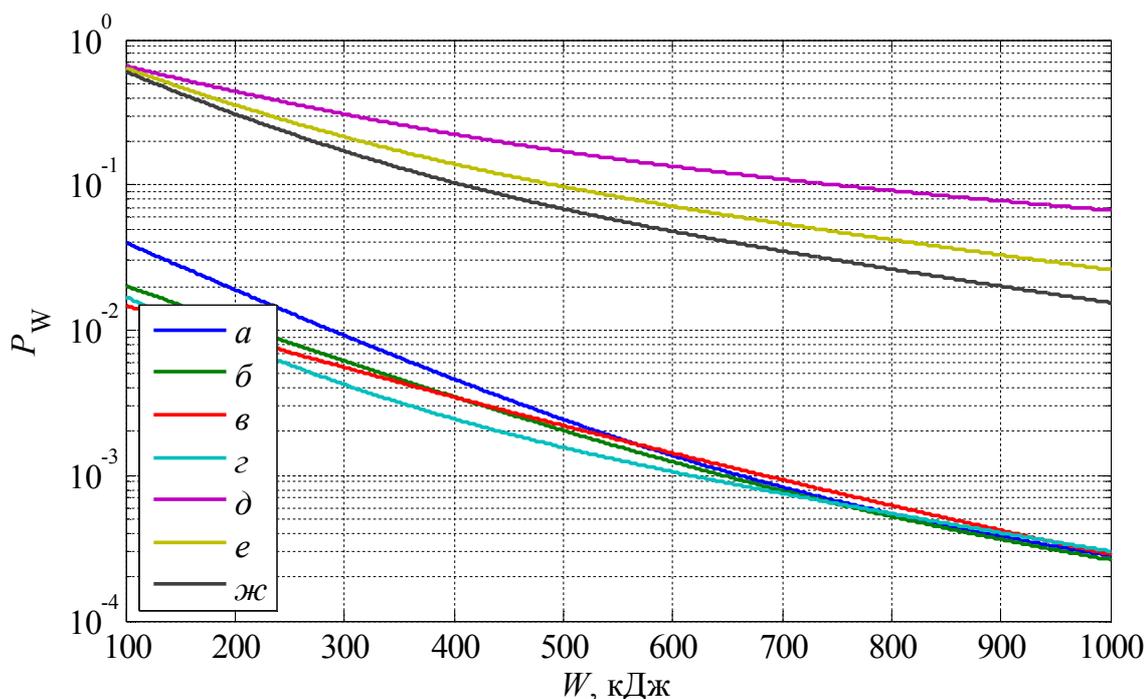


Рисунок Б.10 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на двухцепных одно-стоечных опорах ВЛ 110 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 50 Ом

Таблица Б.10 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий в ЗА при сопротивлении ЗУ опор 50 Ом

Вариант защиты	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	<i>е</i>	<i>ж</i>	
Наличие троса	+				-			
Число ЗА на опору	3	4	4	6	2	4	6	
Схема расстановки ЗА								
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору								
Параметры аппроксимации	для ЛО				для ЛР			
	<i>A</i> <sub>1</sub>	<i>T</i> <sub>1</sub>	<i>A</i> <sub>2</sub>	<i>T</i> <sub>2</sub>	<i>A</i> <sub>1</sub>	<i>T</i> <sub>1</sub>	<i>A</i> <sub>2</sub>	<i>T</i> <sub>2</sub>
<i>a</i>	0.08388	-0.007807	0.002269	-0.002222	0.08388	-0.007807	0.002269	-0.002222
<i>б</i>	0.03592	-0.006374	0.001571	-0.002053	0.03592	-0.006374	0.001571	-0.002053
<i>в</i>	0.0185	-0.005847	0.006339	-0.003304	0.0185	-0.005847	0.006339	-0.003304
<i>г</i>	0.03325	-0.009319	0.005231	-0.002866	0.03325	-0.009319	0.005231	-0.002866
<i>д</i>	0.8089	-0.005461	0.2174	-0.00123	0.8089	-0.005461	0.2174	-0.00123
<i>е</i>	0.9903	-0.007947	0.2411	-0.002236	0.9903	-0.007947	0.2411	-0.002236
<i>ж</i>	1.077	-0.00854	0.1869	-0.002504	1.077	-0.00854	0.1869	-0.002504

Примечания.

- 1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_w(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;
- 2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 200 до 2000 кДж.

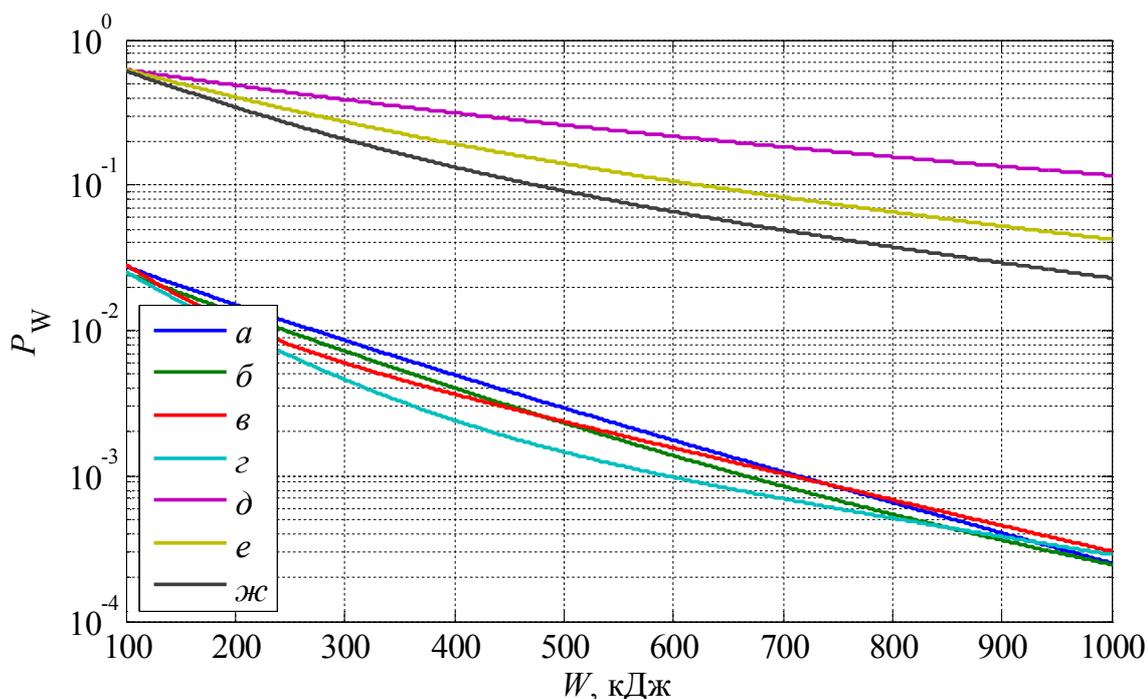


Рисунок Б.11 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на двухцепных одно-стоечных опорах ВЛ 110 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 100 Ом

Таблица Б.11 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий в ЗА при сопротивлении ЗУ опор 100 Ом

Вариант защиты	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	<i>е</i>	<i>ж</i>	
Наличие троса	+				-			
Число ЗА на опоре	3	4	4	6	2	4	6	
Схема расстановки ЗА								
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору								
Параметры аппроксимации	для ЛО				для ЛР			
	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$
<i>a</i>	0.0262	-0.008109	0.02523	-0.004638	0.0262	-0.008109	0.02523	-0.004638
<i>б</i>	0.04368	-0.006812	0.003831	-0.002961	0.04368	-0.006812	0.003831	-0.002961
<i>в</i>	0.081	-0.01591	0.01807	-0.004088	0.081	-0.01591	0.01807	-0.004088
<i>г</i>	0.06306	-0.01065	0.004677	-0.002795	0.06306	-0.01065	0.004677	-0.002795
<i>д</i>	0.4257	-0.004239	0.3923	-0.001266	0.4257	-0.004239	0.3923	-0.001266
<i>е</i>	0.7226	-0.006137	0.2834	-0.001938	0.7226	-0.006137	0.2834	-0.001938
<i>ж</i>	0.9315	-0.007492	0.214	-0.002253	0.9315	-0.007492	0.214	-0.002253

Примечания.

- 1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_w(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;
- 2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 200 до 2000 кДж.

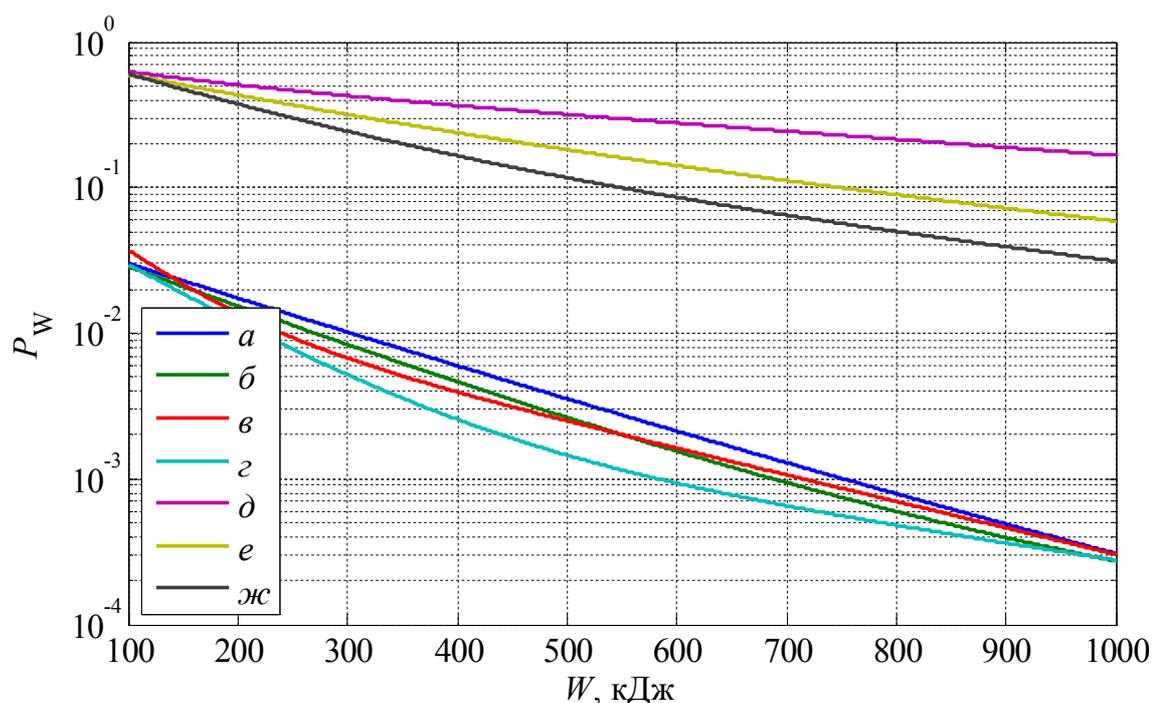


Рисунок Б.12 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на двухцепных одно-стоечных опорах ВЛ 110 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 200 Ом

Таблица Б.12 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий в ЗА при сопротивлении ЗУ опор 200 Ом

Вариант защиты	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	<i>е</i>	<i>ж</i>	
Наличие троса	+				-			
Число ЗА на опору	3	4	4	6	2	4	6	
Схема расстановки ЗА								
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору								
Параметры аппроксимации	для ЛО				для ЛР			
	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$
<i>a</i>	0.04473	-0.005895	0.007931	-0.003762	0.04473	-0.005895	0.007931	-0.003762
<i>б</i>	0.0518	-0.006513	0.002152	-0.002398	0.0518	-0.006513	0.002152	-0.002398
<i>в</i>	0.1185	-0.01567	0.01989	-0.004183	0.1185	-0.01567	0.01989	-0.004183
<i>г</i>	0.07512	-0.01018	0.00359	-0.00257	0.07512	-0.01018	0.00359	-0.00257
<i>д</i>	0.227	-0.007311	0.5862	-0.001261	0.227	-0.007311	0.5862	-0.001261
<i>е</i>	0.5407	-0.004615	0.3082	-0.001751	0.5407	-0.004615	0.3082	-0.001751
<i>ж</i>	0.7781	-0.006252	0.2302	-0.002046	0.7781	-0.006252	0.2302	-0.002046

Примечания.

- 1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_w(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;
- 2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 200 до 2000 кДж.

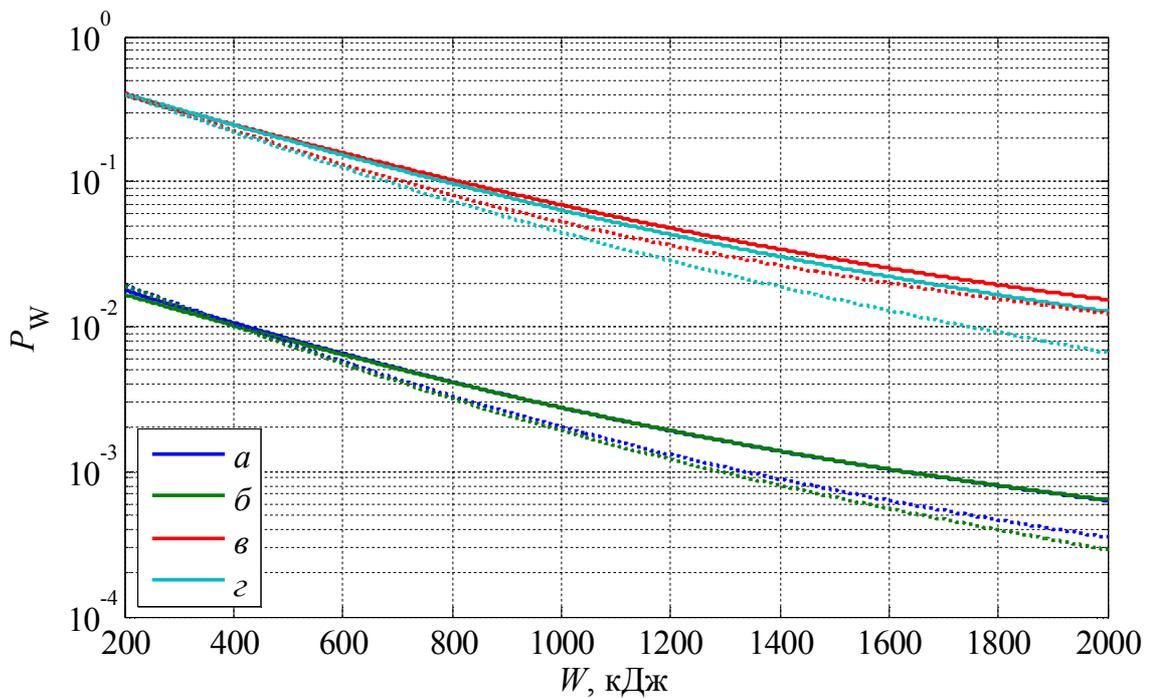


Рисунок Б.13 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на одноцепных одностоечных опорах ВЛ 220 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 10 Ом

Таблица Б.13 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий в ЗА при сопротивлении ЗУ опор 10 Ом

Вариант схемы	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>				
Наличие троса	+		-					
Число ЗА на опору	2	3	1	3				
Схема расстановки ЗА								
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору								
Параметры аппроксимации	для ЛО				для ЛР			
	<i>A</i> <sub>1</sub>	<i>T</i> <sub>1</sub>	<i>A</i> <sub>2</sub>	<i>T</i> <sub>2</sub>	<i>A</i> <sub>1</sub>	<i>T</i> <sub>1</sub>	<i>A</i> <sub>2</sub>	<i>T</i> <sub>2</sub>
<i>a</i>	0.02727	-0.002981	0.003414	-0.0009014	0.03435	-0.0035	0.003121	-0.001137
<i>б</i>	0.02513	-0.002747	0.002519	-0.0007738	0.03369	-0.003622	0.003892	-0.001341
<i>в</i>	0.5914	-0.002579	0.04979	-0.0007142	0.6791	-0.003452	0.08446	-0.0009909
<i>г</i>	0.6117	-0.002808	0.06895	-0.0009398	0.6646	-0.003407	0.08859	-0.001356

*Примечания.*

- 1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_W(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;
- 2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 500 до 3000 кДж;
- 3) на рисунке сплошными линиями показаны значения  $P_W$  для ЛО, штриховыми – для ЛР.

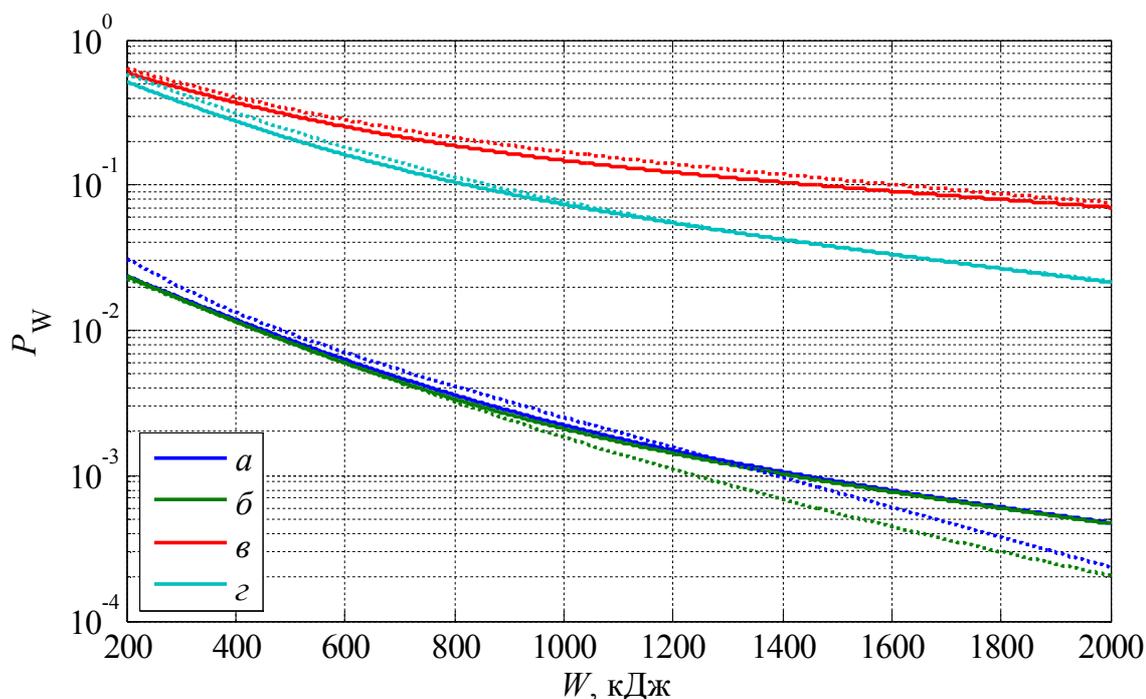


Рисунок Б.14 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на одноцепных одностоечных опорах ВЛ 220 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 50 Ом

Таблица Б.14 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий в ЗА при сопротивлении ЗУ опор 50 Ом

Вариант схемы	а		б		в		г	
Наличие троса	+				-			
Число ЗА на опору	2		3		1		3	
Схема расстановки ЗА								
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опоры								
Параметры аппроксимации	для ЛО				для ЛР			
	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$
а	0.0457	-0.004005	0.004283	-0.001116	0.07401	-0.007962	0.02677	-0.002369
б	0.04727	-0.004214	0.004335	-0.001124	0.04204	-0.003856	0.004946	-0.001638
в	0.8107	-0.003588	0.2265	-0.0005888	0.8116	-0.003807	0.3033	-0.0006955
г	0.8755	-0.004232	0.176	-0.001057	0.9944	-0.00372	0.134	-0.0009207

Примечания.

- 1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_w(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;
- 2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 500 до 3000 кДж;
- 3) на рисунке сплошными линиями показаны значения  $P_w$  для ЛО, штриховыми – для ЛР.

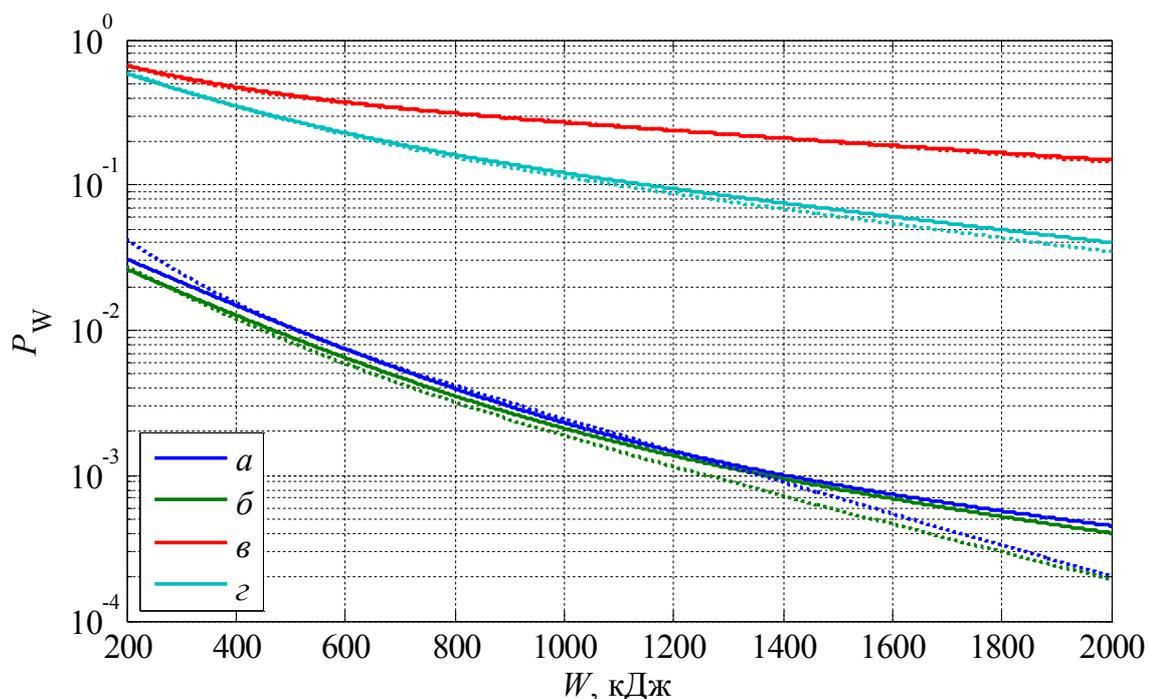


Рисунок Б.15 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на одноцепных одностоечных опорах ВЛ 220 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 100 Ом

Таблица Б.15 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий в ЗА при сопротивлении ЗУ опор 100 Ом

Вариант схемы	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>з</i>				
Наличие троса	+		-					
Число ЗА на опору	2	3	1	3				
Схема расстановки ЗА								
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору								
Параметры аппроксимации	для ЛО				для ЛР			
	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$
<i>a</i>	0.06381	-0.004008	0.003097	-0.0009863	0.1333	-0.008346	0.02933	-0.002488
<i>б</i>	0.05317	-0.004121	0.004064	-0.001174	0.05567	-0.005621	0.01475	-0.00217
<i>в</i>	0.6101	-0.004418	0.4644	-0.0005693	0.703	-0.00583	0.506	-0.0006279
<i>з</i>	0.7915	-0.00408	0.2923	-0.000994	0.8215	-0.004157	0.2996	-0.001081

Примечания.

- 1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_w(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;
- 2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 500 до 3000 кДж;
- 3) на рисунке сплошными линиями показаны значения  $P_w$  для ЛО, штриховыми – для ЛР.

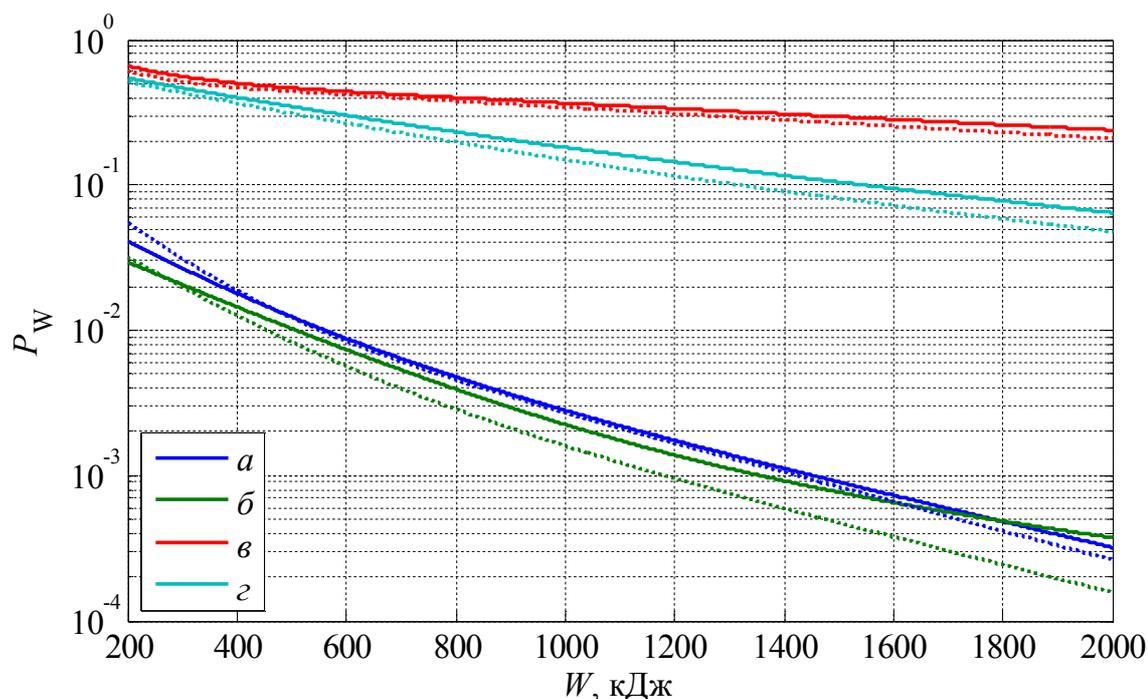


Рисунок Б.16 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на одноцепных одностоечных опорах ВЛ 220 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 200 Ом

Таблица Б.16 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий в ЗА при сопротивлении ЗУ опор 200 Ом

Вариант схемы	a		б		в		z	
Наличие троса	+				-			
Число ЗА на опору	2		3		1		3	
Схема расстановки ЗА								
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору								
Параметры аппроксимации	для ЛО				для ЛР			
	A <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	T <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	T <sub>2</sub>
a	0.08413	-0.00536	0.0184	-0.002028	0.1798	-0.00765	0.02645	-0.002305
б	0.05895	-0.003829	0.002729	-0.001031	0.07766	-0.005774	0.01192	-0.002166
в	0.7501	-0.00811	0.562	-0.0004277	1.277	-0.0124	0.5634	-0.000496
z	0.4408	-0.002302	0.3157	-0.0008295	0.5345	-0.002223	0.2017	-0.0007867

Примечания.

- 1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_w(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;
- 2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 500 до 3000 кДж;
- 3) на рисунке сплошными линиями показаны значения  $P_w$  для ЛО, штриховыми – для ЛР.

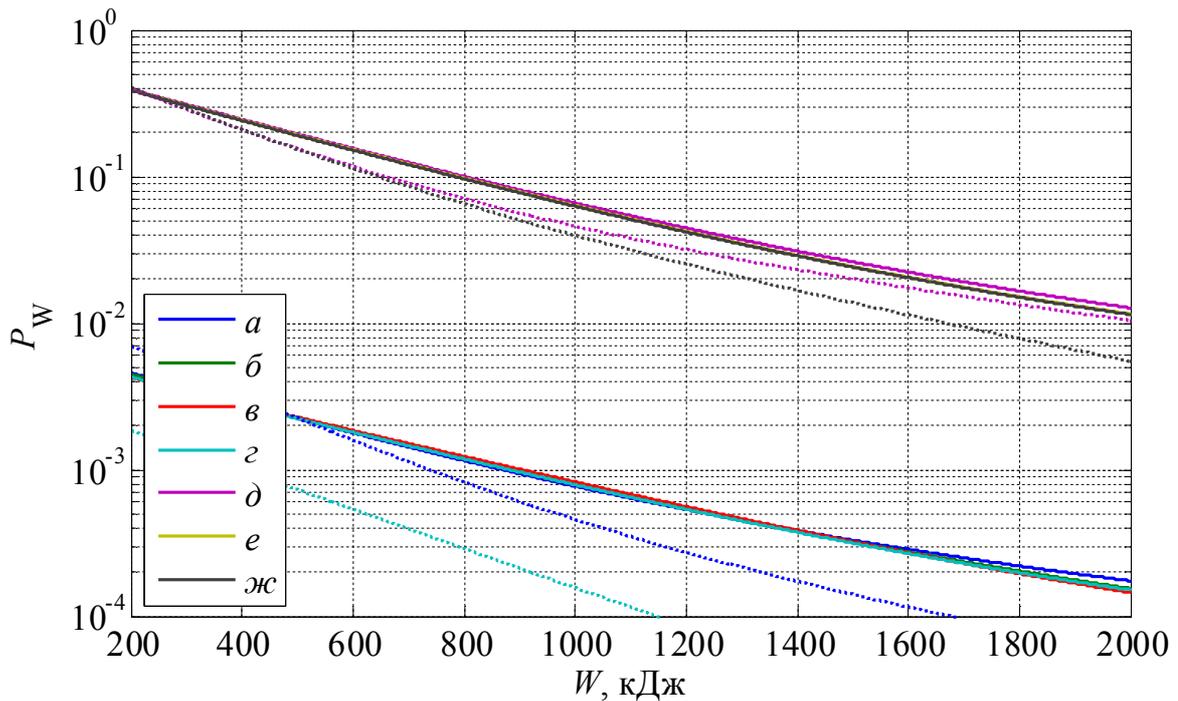


Рисунок Б.17 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на двухцепных одно-  
стоечных опорах ВЛ 220 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 10 Ом

Таблица Б.17 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий  
в ЗА при сопротивлении ЗУ опор 10 Ом

Вариант защиты	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	<i>е</i>	<i>ж</i>	
Наличие троса	+				-			
Число ЗА на опору	3	4	4	6	2	4	6	
Схема расстановки ЗА								
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору								
Параметры аппроксимации	для ЛО				для ЛР			
	<i>A</i> <sub>1</sub>	<i>T</i> <sub>1</sub>	<i>A</i> <sub>2</sub>	<i>T</i> <sub>2</sub>	<i>A</i> <sub>1</sub>	<i>T</i> <sub>1</sub>	<i>A</i> <sub>2</sub>	<i>T</i> <sub>2</sub>
<i>a</i>	0.006895	-0.002697	0.0006635	-0.0007663	0.008282	-0.002841	0.0009784	-0.002012
<i>б</i>	0.006556	-0.002528	0.0006513	-0.0008753	0.008304	-0.003341	0.0009801	-0.002331
<i>в</i>	0.00641	-0.002138	9.187e-05	-0.0002439	0.00640	-0.002238	9.187e-05	-0.0003139
<i>г</i>	0.006497	-0.002297	0.0002234	-0.0004786	0.001179	-0.002249	0.005554	-0.005497
<i>д</i>	0.6004	-0.002519	0.03588	-0.0007013	0.9862	-0.004891	0.1445	-0.001229
<i>е</i>	0.607	-0.002481	0.02253	-0.0005625	0.547	-0.002481	0.01953	-0.0005625
<i>ж</i>	0.6037	-0.002518	0.02676	-0.0006335	0.6313	-0.003244	0.1183	-0.001632

Примечания:

- 1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_w(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;
- 2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 500 до 3000 кДж.

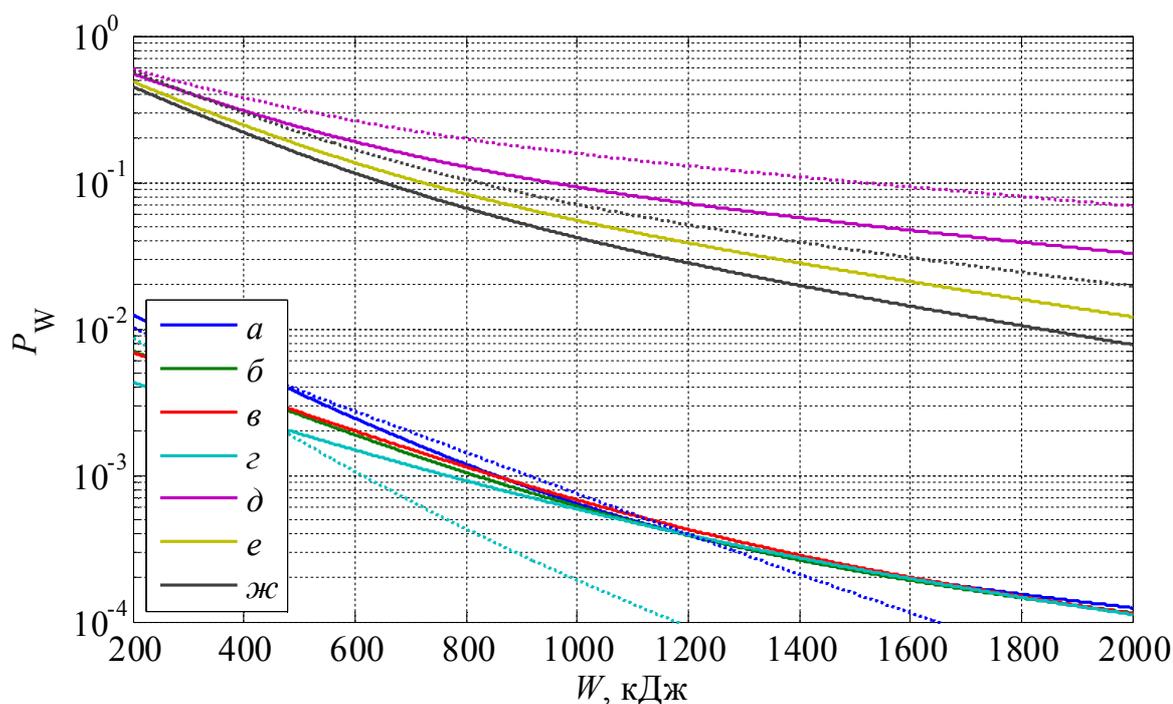


Рисунок Б.18 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на двухцепных одно-стоечных опорах ВЛ 220 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 50 Ом

Таблица Б.18 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий в ЗА при сопротивлении ЗУ опор 50 Ом

Вариант защиты	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	<i>е</i>	<i>ж</i>	
Наличие троса	+				-			
Число ЗА на опору	3	4	4	6	2	4	6	
Схема расстановки ЗА								
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору								
Параметры аппроксимации	для ЛО				для ЛР			
	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$
<i>a</i>	0.02892	-0.004431	0.0007398	-0.0009077	0.014393	-0.002976	4.808e-07	0.0003298
<i>б</i>	0.01349	-0.00365	0.0006625	-0.0009179	0.01224	-0.003301	0	0
<i>в</i>	0.0125	-0.003402	0.0006966	-0.0009715	0.0121	-0.003478	0.000631	-0.000992
<i>г</i>	0.00686	-0.003086	0.000772	-0.001033	0.01688	-0.004541	0.0003673	-0.002147
<i>д</i>	0.8862	-0.003944	0.1777	-0.0008512	0.5832	-0.002753	0.19815	-0.0006276
<i>е</i>	0.878	-0.004481	0.17	-0.001326	0.9232	-0.003833	0.1655	-0.0007345
<i>ж</i>	0.8554	-0.004464	0.1349	-0.001432	0.7939	-0.003257	0.1258	-0.0009472

Примечания.

- 1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_W(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;
- 2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 500 до 3000 кДж.

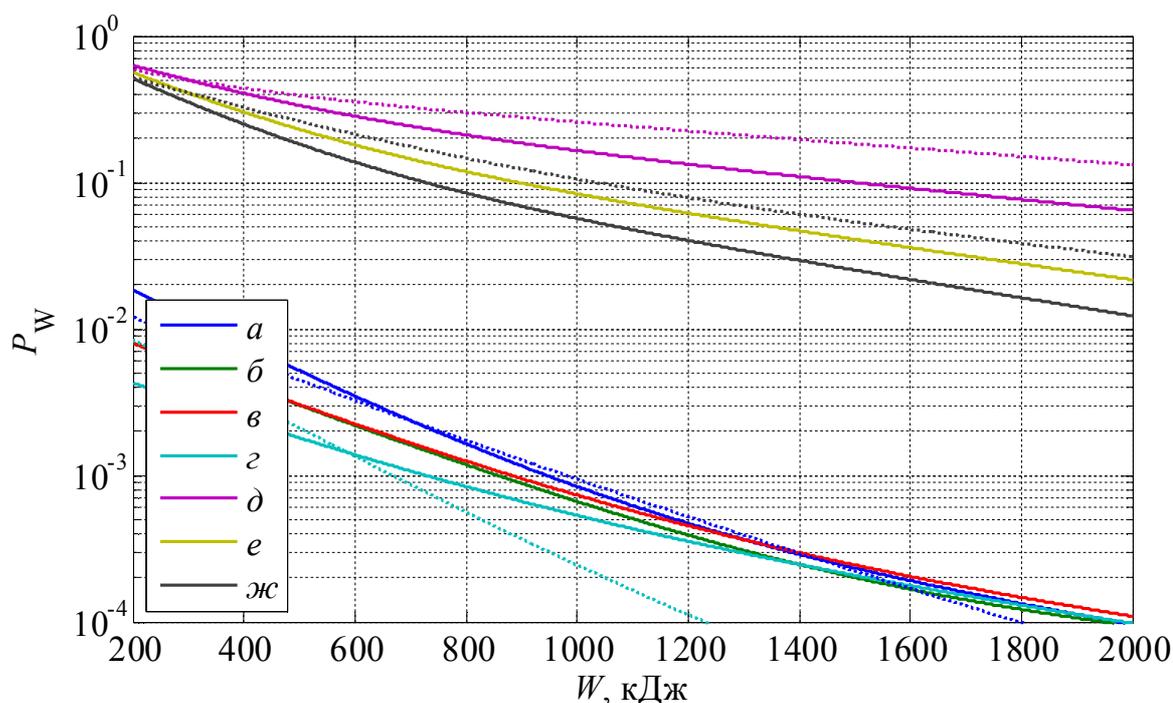


Рисунок Б.19 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на двухцепных одно-стоечных опорах ВЛ 220 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 100 Ом

Таблица Б.19 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий в ЗА при сопротивлении ЗУ опор 100 Ом

Вариант защиты	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	<i>е</i>	<i>ж</i>	
Наличие троса	+				-			
Число ЗА на опору	3	4	4	6	2	4	6	
Схема расстановки ЗА								
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опоры								
Параметры аппроксимации	для ЛО				для ЛР			
	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$
<i>a</i>	0.04258	-0.004521	0.001572	-0.001426	0.0007917	-0.001313	0.01438	-0.003617
<i>б</i>	0.0153	-0.003387	0.0002837	-0.0006556	0.0007144	-0.001633	0.01238	-0.003733
<i>в</i>	0.01469	-0.003521	0.0009339	-0.001135	0.01355	-0.003551	0.000912	-0.001178
<i>г</i>	0.006838	-0.003424	0.001067	-0.001234	0.02365	-0.005106	0.0003685	-0.001815
<i>д</i>	0.724	-0.003729	0.3408	-0.0008357	0.3688	-0.00298	0.3259	-0.0004948
<i>е</i>	0.9114	-0.004547	0.2545	-0.001234	0.7421	-0.003653	0.2908	-0.000848
<i>ж</i>	0.965	-0.004905	0.2017	-0.001401	0.5358	-0.002983	0.1877	-0.000955

Примечания.

- 1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_w(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;
- 2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 500 до 3000 кДж.

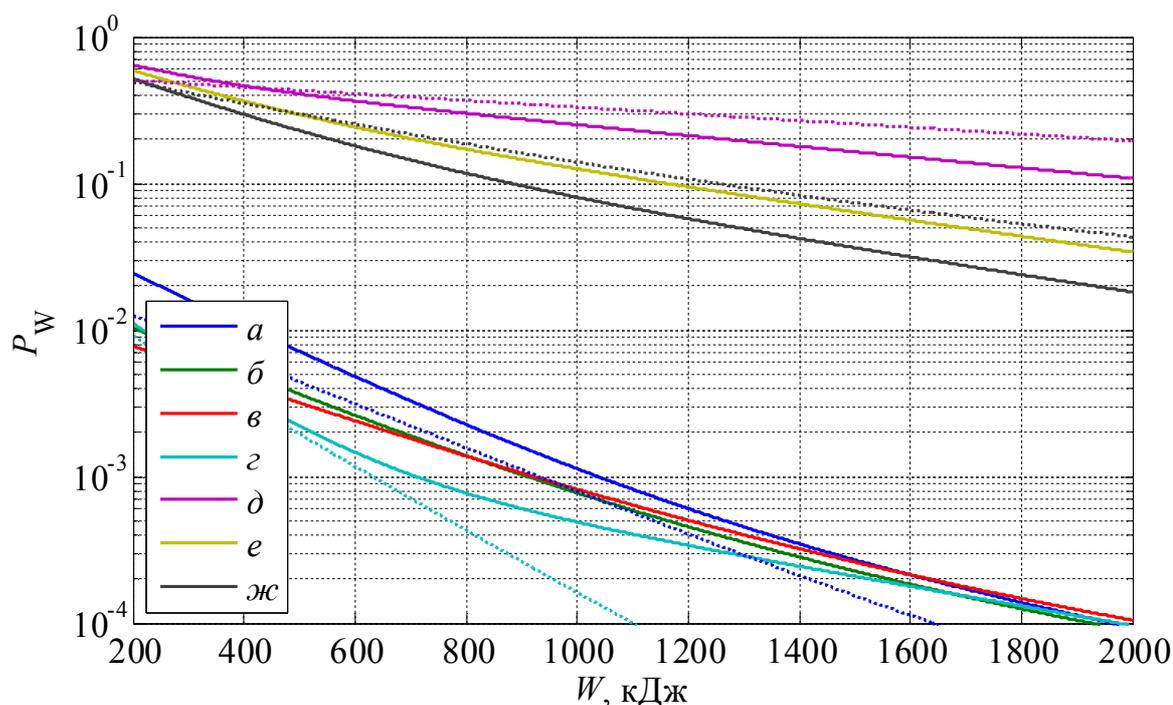


Рисунок Б.20 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на двухцепных одно-стоечных опорах ВЛ 220 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 200 Ом

Таблица Б.20 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий в ЗА при сопротивлении ЗУ опор 200 Ом

Вариант защиты	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	<i>е</i>	<i>ж</i>	
Наличие троса	+				-			
Число ЗА на опору	3	4	4	6	2	4	6	
Схема расстановки ЗА								
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору								
Параметры аппроксимации	для ЛО				для ЛР			
	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$
<i>a</i>	0.05474	-0.004362	0.00225	-0.001641	0.02898	-0.00406	0.00166	-0.001805
<i>б</i>	0.02	-0.003812	0.001423	-0.00145	0.02323	-0.00421	0.00151	-0.001912
<i>в</i>	0.01338	-0.003218	0.0009791	-0.001232	0.01138	-0.003055	0.0008591	-0.001298
<i>г</i>	0.03761	-0.006785	0.002076	-0.001535	0.005167	-0.003548	0.1093	-0.008292
<i>д</i>	0.4851	-0.005638	0.5774	-0.0008373	0.1115	-0.010498	0.5074	-0.0004737
<i>е</i>	0.6495	-0.004138	0.3935	-0.001226	0.4615	-0.005383	0.5475	-0.0008732
<i>ж</i>	0.7278	-0.003924	0.2446	-0.001307	0.6359	-0.003983	0.3768	-0.001087

Примечания:

- 1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_W(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;
- 2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 500 до 3000 кДж.

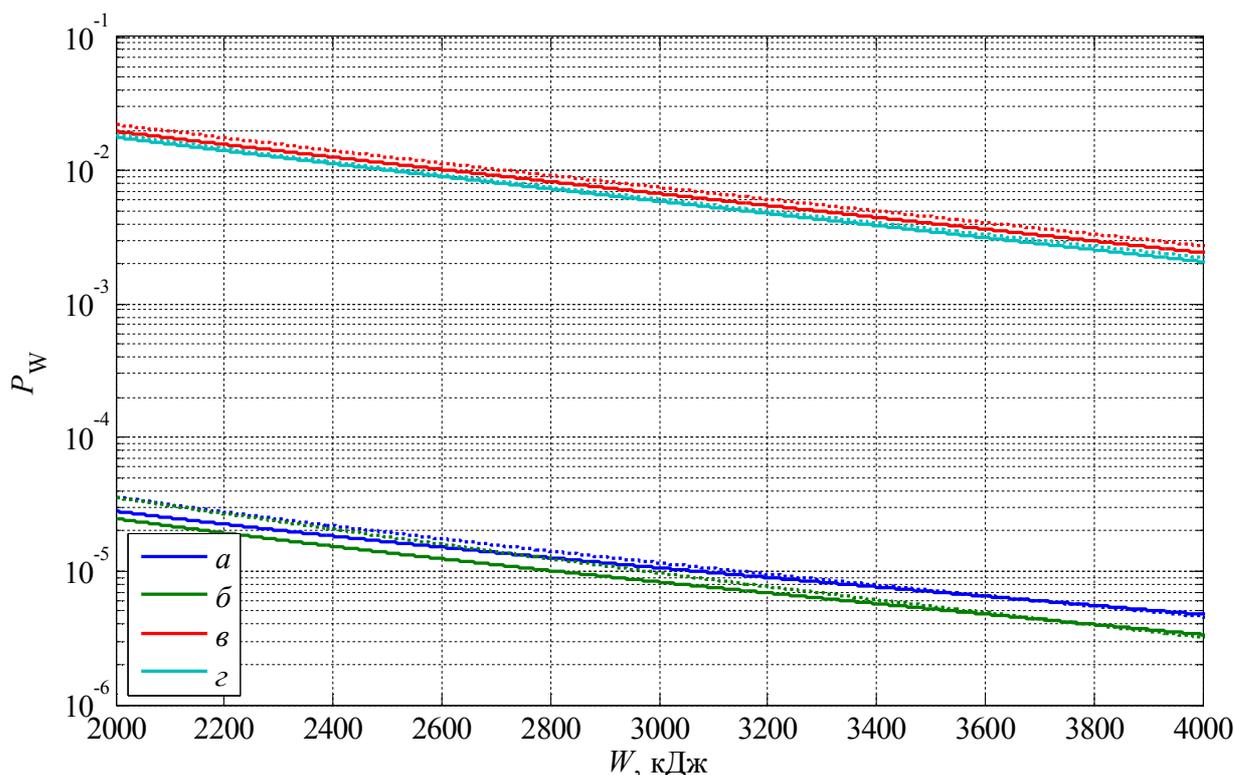


Рисунок Б.21 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на одноцепных одностоечных опорах ВЛ 330 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 10 Ом

Таблица Б.21 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий в ЗА при сопротивлении ЗУ опор 10 Ом

Вариант схемы	а		б		в		г	
Наличие троса	+				-			
Число ЗА на опору	2		3		1		3	
Схема расстановки ЗА								
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору								
Параметры аппроксимации	для ЛО				для ЛР			
	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$
а	0.0009834	-0.002503	9.883e-05	-0.0007613	0.001262	-0.002339	0.0001312	-0.0008442
б	0.0009255	-0.002471	9.947e-05	-0.0008509	0.000778	-0.00184	9.449e-05	-0.000887
в	0.5974	-0.003025	0.1375	-0.00101	0.6334	-0.002775	0.1426	-0.0009895
г	0.6066	-0.003009	0.128	-0.001031	0.7113	-0.002798	0.1136	-0.0009836

Примечания.

- 1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_w(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;
- 2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 1000 до 5000 кДж;
- 3) на рисунке сплошными линиями показаны значения  $P_w$  для ЛО, штриховыми – для ЛР.

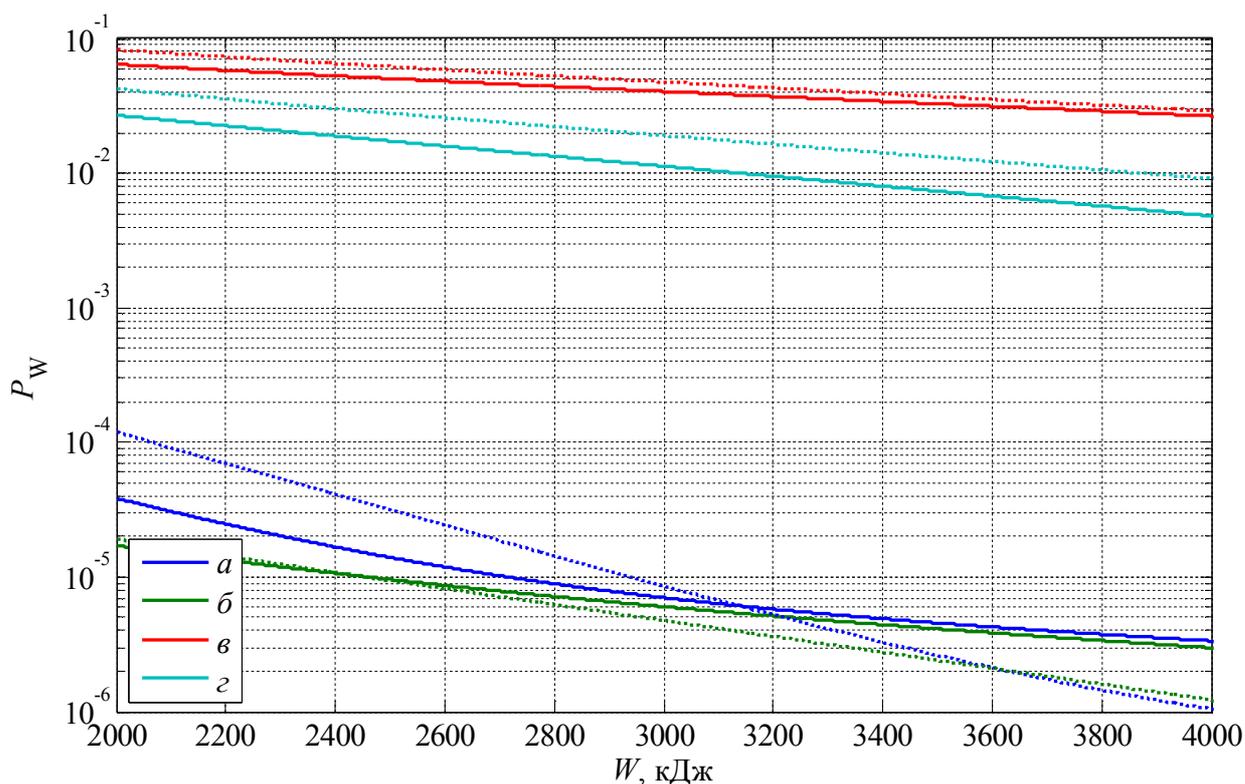


Рисунок Б.22 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на одноцепных одностоечных опорах ВЛ 330 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 50 Ом

Таблица Б.22 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий в ЗА при сопротивлении ЗУ опор 50 Ом

Вариант схемы	а		б		в		г	
Наличие троса	+				-			
Число ЗА на опору	2		3		1		3	
Схема расстановки ЗА								
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору								
Параметры аппроксимации	для ЛО				для ЛР			
	A <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	T <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	T <sub>2</sub>
а	0.008383	-0.002813	2.169e-05	-0.0004748	0.02624	-0.002697	9.079e-07	-0.0001463
б	0.000455	-0.001952	2.285e-05	-0.0005251	0.06101	-0.005652	0.0002815	-0.00136
в	0.6627	-0.002631	0.14	-0.0004156	0.8417	-0.002484	0.2043	-0.0004883
г	0.7718	-0.003557	0.1441	-0.0008498	0.9957	-0.002869	0.1683	-0.0007287

Примечания.

- 1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_w(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;
- 2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 1000 до 5000 кДж;
- 3) на рисунке сплошными линиями показаны значения  $P_w$  для ЛО, штриховыми – для ЛР.

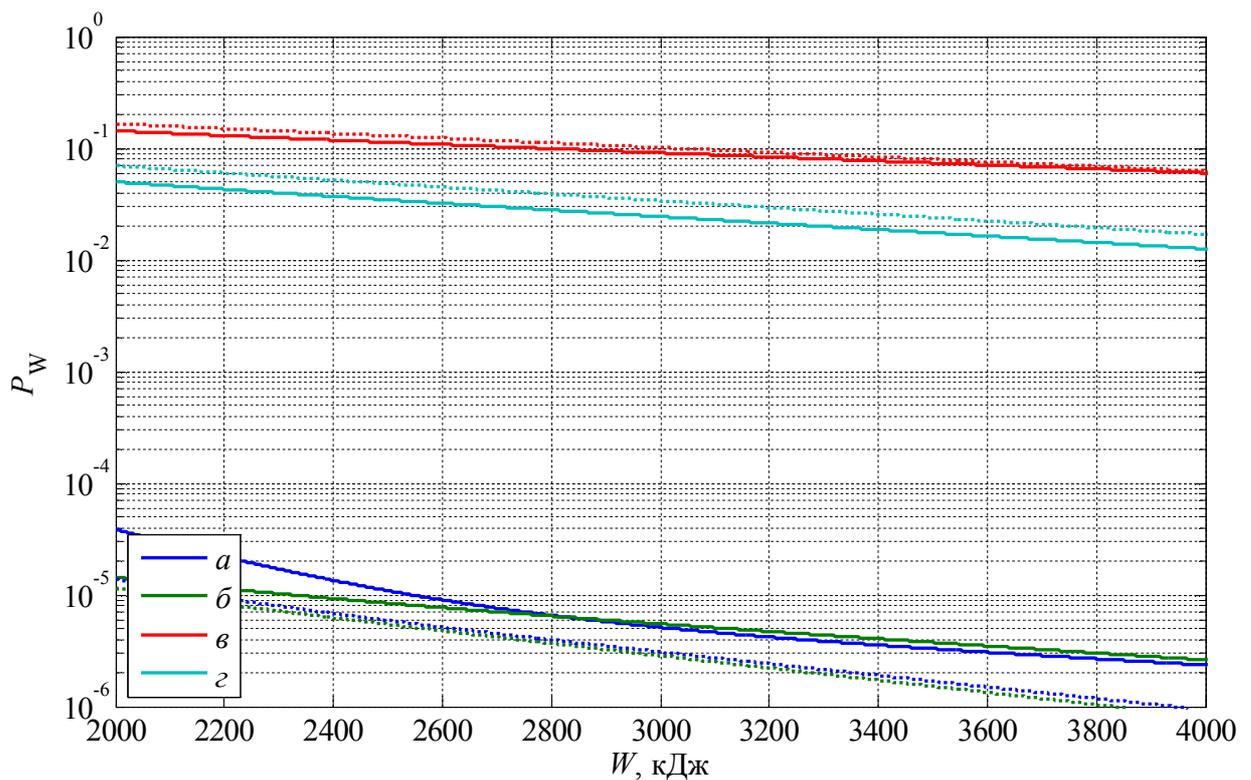


Рисунок Б.23 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на одноцепных одностоечных опорах ВЛ 330 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 100 Ом

Таблица Б.23 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий в ЗА при сопротивлении ЗУ опор 100 Ом

Вариант схемы	а		б		в		г	
Наличие троса	+				-			
Число ЗА на опору	2		3		1		3	
Схема расстановки ЗА								
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опоры								
Параметры аппроксимации	для ЛО				для ЛР			
	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$
а	0.04128	-0.003597	2.621e-05	-0.0006055	0.03479	-0.004549	0.0001057	-0.001183
б	0.001005	-0.002804	4.416e-05	-0.0007088	0.0689	-0.005363	0.0001239	-0.001258
в	0.4402	-0.001954	0.3003	-0.0004034	0.6109	-0.003093	0.4331	-0.0004848
г	0.6337	-0.002617	0.1729	-0.0006564	0.7598	-0.002803	0.2657	-0.0006885

Примечания.

- 1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_w(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;
- 2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 1000 до 5000 кДж;
- 3) на рисунке сплошными линиями показаны значения  $P_w$  для ЛО, штриховыми – для ЛР.

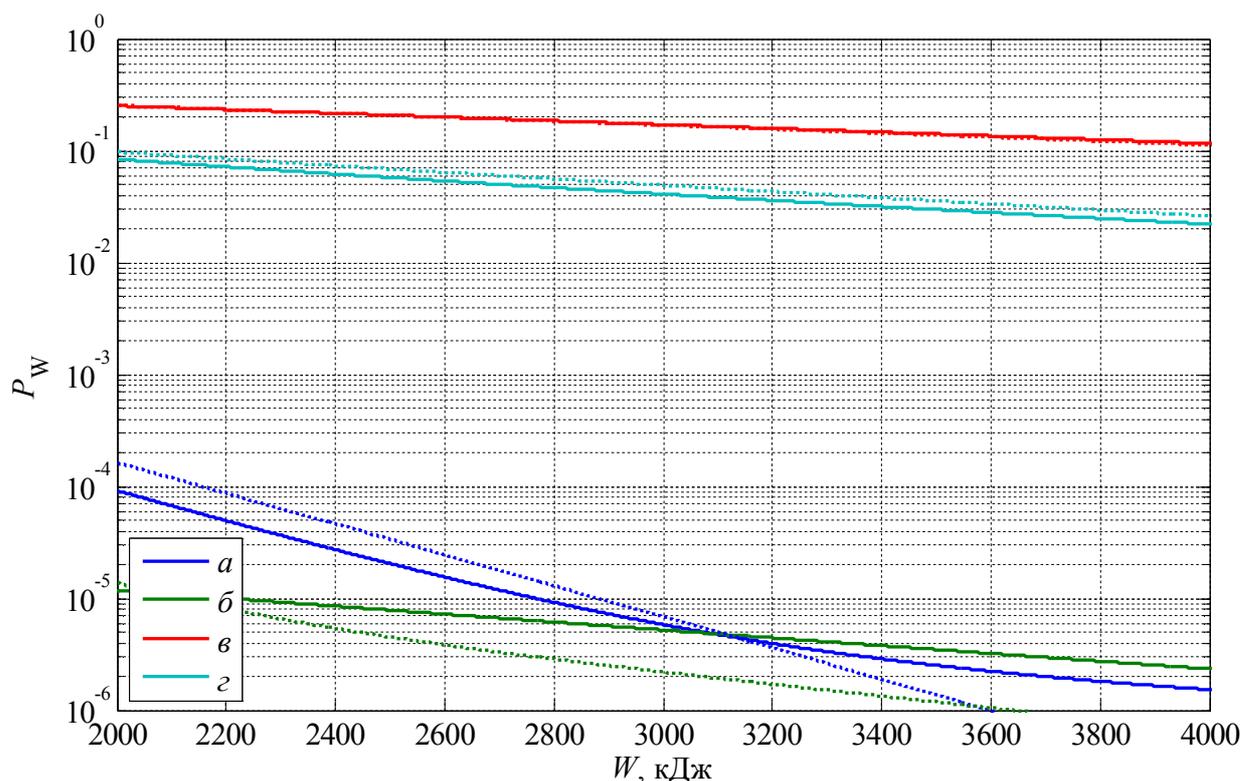


Рисунок Б.24 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на одноцепных одностоечных опорах ВЛ 330 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 200 Ом

Таблица Б.24 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий в ЗА при сопротивлении ЗУ опор 200 Ом

Вариант схемы	а		б		в		г	
Наличие троса	+				-			
Число ЗА на опору	2		3		1		3	
Схема расстановки ЗА								
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору								
Параметры аппроксимации	для ЛО				для ЛР			
	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$
а	0.05933	-0.003259	1.351e-05	-0.0005669	-0.09247	-0.003862	0.1433	-0.003276
б	3.38e-05	-0.001022	3.147e-05	-0.0007189	0.08349	-0.004711	7.628e-05	-0.001191
в	0.3427	-0.004586	0.5447	-0.0003865	-1.641e-05	0.001152	0.5642	-0.0004006
г	0.4957	-0.001636	0.1986	-0.0005581	0.4125	-0.001868	0.2988	-0.0006123

Примечания.

- 1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_w(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;
- 2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 1000 до 5000 кДж;
- 3) на рисунке сплошными линиями показаны значения  $P_w$  для ЛО, штриховыми – для ЛР.

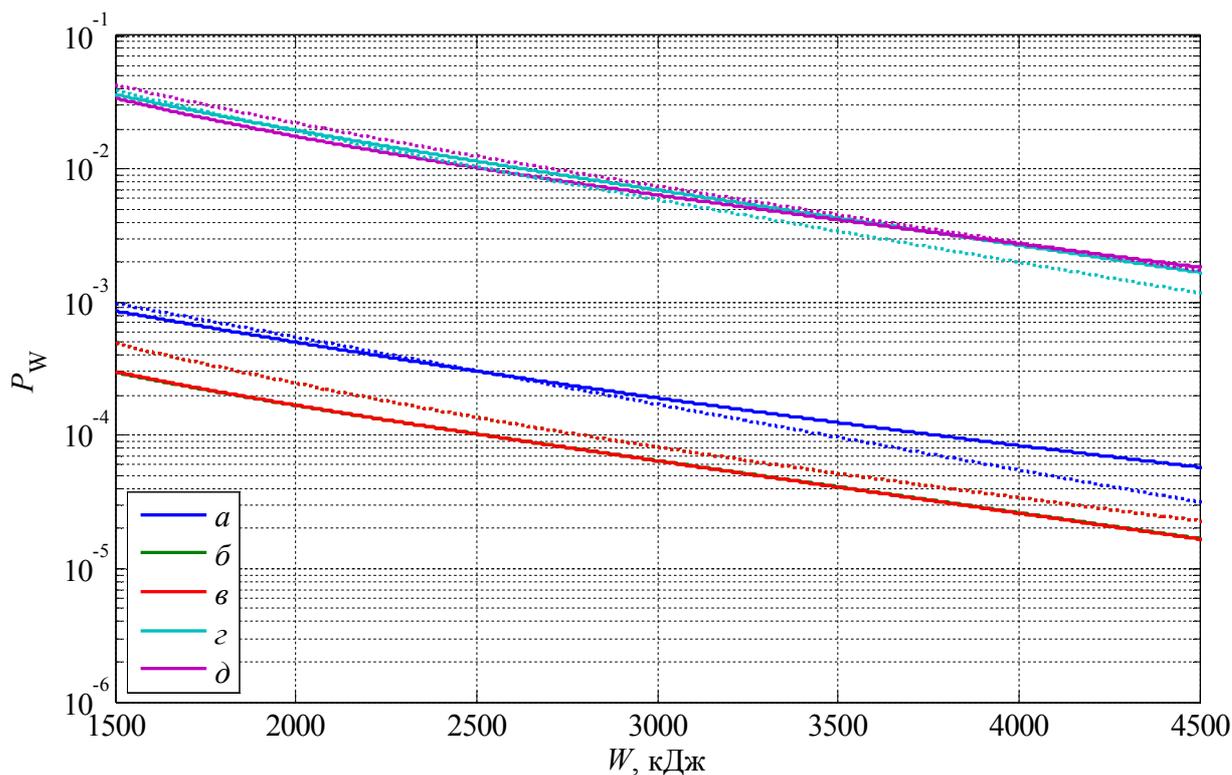


Рисунок Б.25 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на одноцепных порталных опорах ВЛ 330 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 10 Ом

Таблица Б.25 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий в ЗА при сопротивлении ЗУ опор 10 Ом

Вариант защиты	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>			
Наличие троса	+			-				
Число ЗА на опору	2	3	1	3				
Схема расстановки ЗА								
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору								
Параметры аппроксимации	для ЛО				для ЛР			
	<i>A</i> <sub>1</sub>	<i>T</i> <sub>1</sub>	<i>A</i> <sub>2</sub>	<i>T</i> <sub>2</sub>	<i>A</i> <sub>1</sub>	<i>T</i> <sub>1</sub>	<i>A</i> <sub>2</sub>	<i>T</i> <sub>2</sub>
<i>a</i>	0.004509	-0.001427	0.000846	-0.0006263	0.005678	-0.001172	4.234e-06	-0.0001002
<i>б</i>	0.005467	-0.003089	0.0009365	-0.0008933	0.005653	-0.001997	0.0006366	-0.0007465
<i>в</i>	0.005345	-0.003035	0.0009393	-0.0008961	0.005653	-0.001997	0.0006366	-0.0007465
<i>г</i>	0.5593	-0.00279	0.1138	-0.0009382	0.6222	-0.002683	0.135	-0.001055
<i>д</i>	0.5435	-0.002431	0.06559	-0.0007961	0.6181	-0.002551	0.1212	-0.0009434

Примечания.

- 1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_W(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;
- 2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 1000 до 5000 кДж;
- 3) на рисунке сплошными линиями показаны значения  $P_W$  для ЛО, штриховыми – для ЛР.

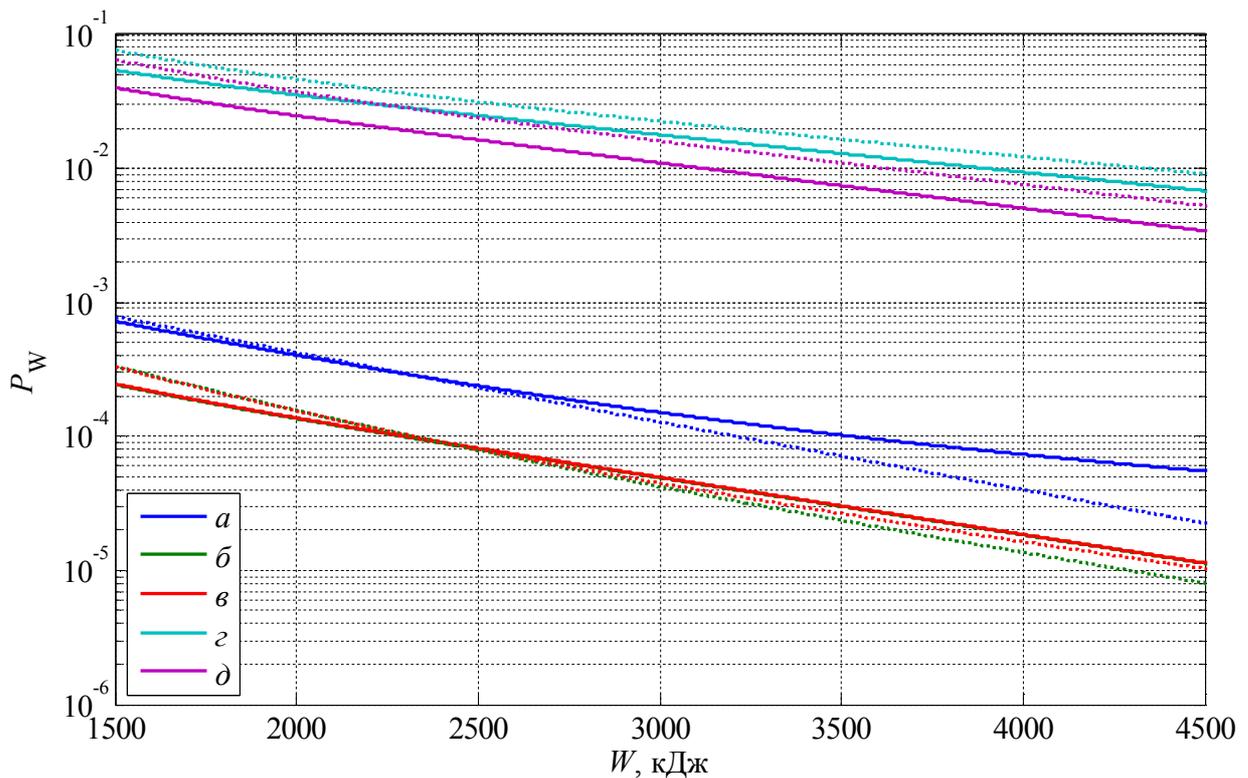


Рисунок Б.26 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на одноцепных порталных опорах ВЛ 330 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 50 Ом

Таблица Б.26 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий в ЗА при сопротивлении ЗУ опор 50 Ом

Вариант защиты	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>			
Наличие троса	+			-				
Число ЗА на опору	2	3	1	3				
Схема расстановки ЗА								
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору								
Параметры аппроксимации	для ЛО				для ЛР			
	<i>A</i> <sub>1</sub>	<i>T</i> <sub>1</sub>	<i>A</i> <sub>2</sub>	<i>T</i> <sub>2</sub>	<i>A</i> <sub>1</sub>	<i>T</i> <sub>1</sub>	<i>A</i> <sub>2</sub>	<i>T</i> <sub>2</sub>
<i>a</i>	0.004975	-0.001443	0.0002773	-0.0003912	0.00216	-0.001931	0.003655	-0.001134
<i>б</i>	0.005651	-0.003446	0.0009223	-0.0009777	0.004206	-0.002091	0.0006798	-0.0009952
<i>в</i>	0.005679	-0.003448	0.0009378	-0.0009805	0.004733	-0.002122	0.0004975	-0.0008683
<i>г</i>	0.6811	-0.002953	0.1203	-0.0006378	0.8984	-0.002426	0.1272	-0.0005862
<i>д</i>	0.7833	-0.003387	0.113	-0.0007769	0.915	-0.002597	0.1382	-0.0007258

Примечания.

- 1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_w(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;
- 2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 1000 до 5000 кДж;
- 3) на рисунке сплошными линиями показаны значения  $P_w$  для ЛО, штриховыми – для ЛР.

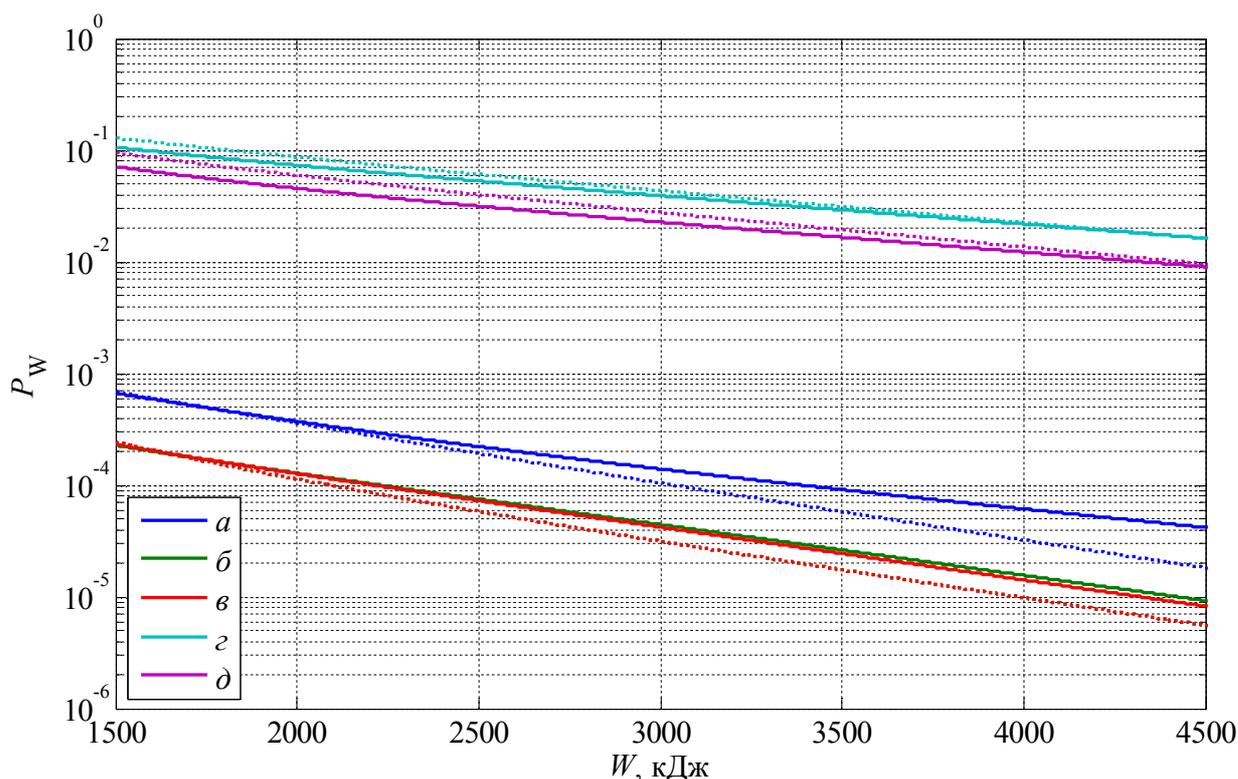


Рисунок Б.27 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на одноцепных порталных опорах ВЛ 330 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 100 Ом

Таблица Б.27 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий в ЗА при сопротивлении ЗУ опор 100 Ом

Вариант защиты	а		б		в		г		д		
Наличие троса	+				-						
Число ЗА на опору	2		3		1		3				
Схема расстановки ЗА											
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опоры											
Параметры аппроксимации	для ЛО				для ЛР						
	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$			
а	0.004876	-0.00181	0.001011	-0.0007156	0.003288	-0.001749	0.00232	-0.001093			
б	0.009098	-0.004273	0.001023	-0.001046	0.005095	-0.002783	0.0009032	-0.001132			
в	0.006424	-0.003908	0.001088	-0.001085	0.005033	-0.002766	0.0008962	-0.00113			
г	0.5971	-0.002504	0.2204	-0.000579	0.6346	-0.002501	0.3027	-0.0006499			
д	0.6467	-0.002465	0.1365	-0.0006041	0.7614	-0.002561	0.2237	-0.0007001			

Примечания.

- 1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_W(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;
- 2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 1000 до 5000 кДж;
- 3) на рисунке сплошными линиями показаны значения  $P_W$  для ЛО, штриховыми – для ЛР.

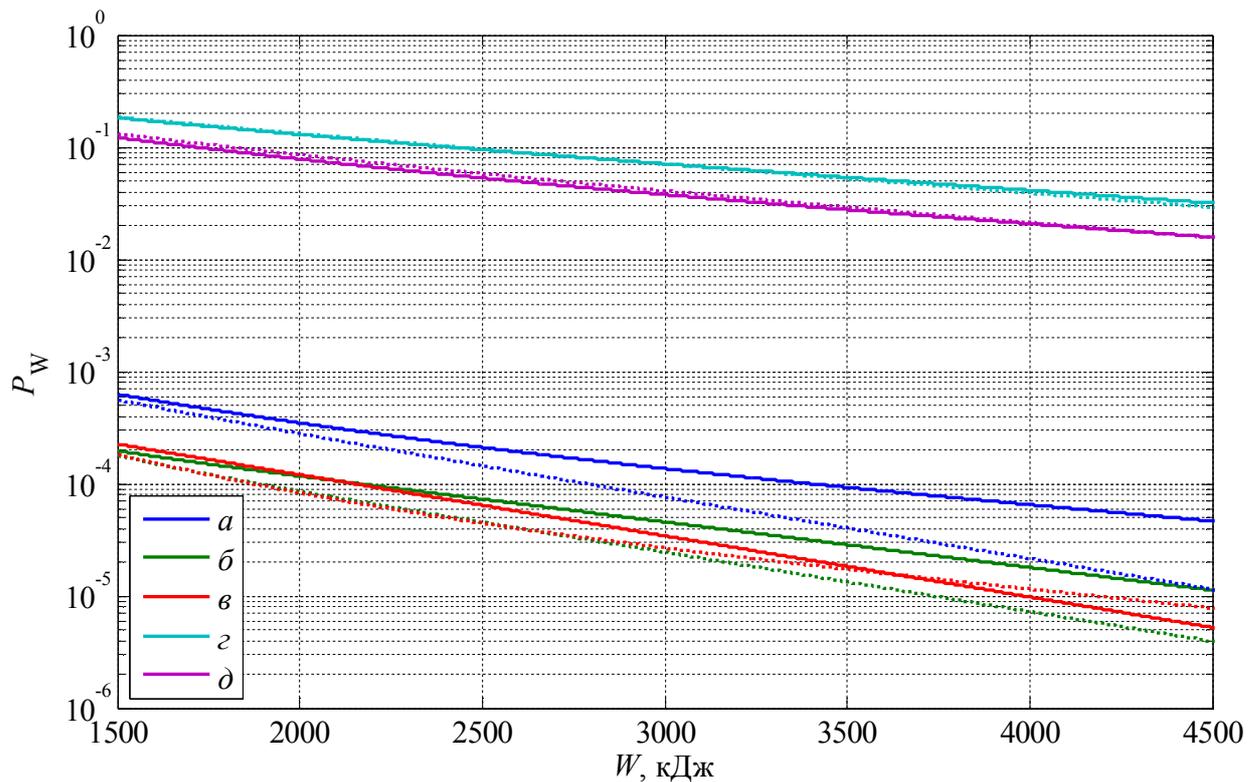


Рисунок Б.28 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на одноцепных порталных опорах ВЛ 330 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 200 Ом

Таблица Б.28 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий в ЗА при сопротивлении ЗУ опор 200 Ом

Вариант защиты	$a$	$б$	$в$	$г$	$д$			
Наличие троса	+			-				
Число ЗА на опору	2	3	1	3				
Схема расстановки ЗА								
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору								
Параметры аппроксимации	для ЛО				для ЛР			
	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$
$a$	0.005206	-0.00183	0.0007472	-0.0006239	0.003783	-0.00262	0.003153	-0.001248
$б$	0.04188	-0.005442	0.0007525	-0.0009344	0.01927	-0.004392	0.0009502	-0.001219
$в$	0.08642	-0.007903	0.001477	-0.001254	0.0002321	-0.0007561	0.004185	-0.002439
$г$	0.3914	-0.001527	0.3054	-0.0005059	0.296	-0.001787	0.3937	-0.0005793
$д$	0.5252	-0.001522	0.1449	-0.0005008	0.4632	-0.001587	0.214	-0.0005864

Примечания.

- 1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_W(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;
- 2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 1000 до 5000 кДж;
- 3) на рисунке сплошными линиями показаны значения  $P_W$  для ЛО, штриховыми – для ЛР.

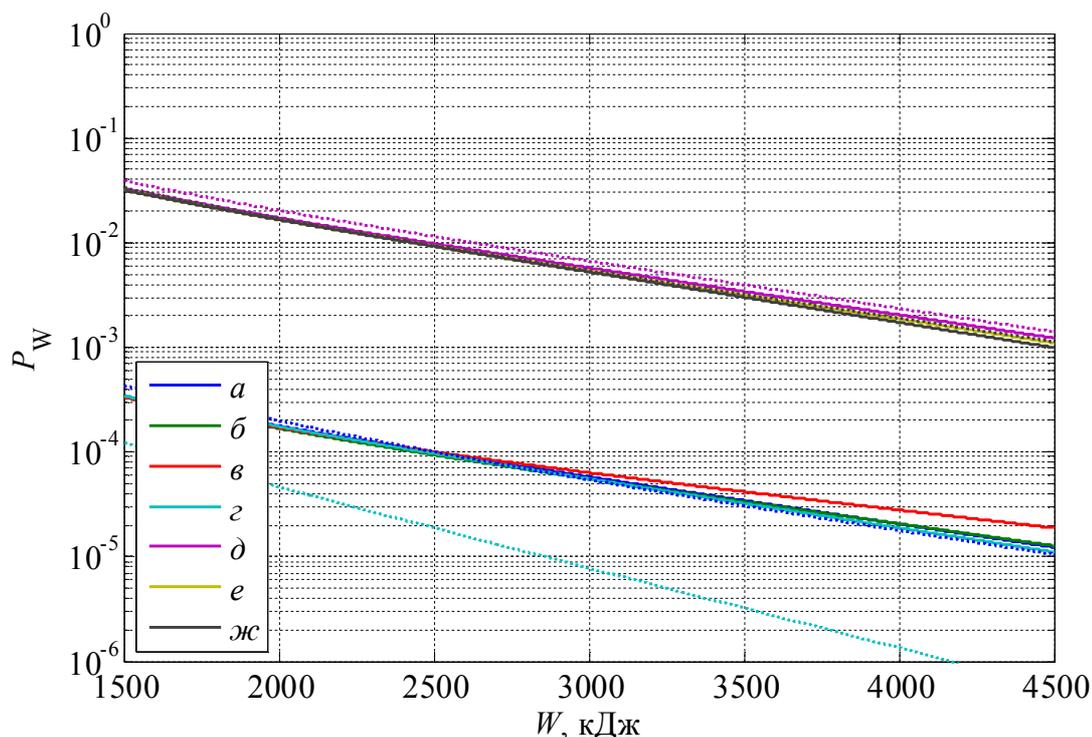


Рисунок Б.29 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на двухцепных одно-стоечных опорах ВЛ 330 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 10 Ом

Таблица Б.29 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий в ЗА при сопротивлении ЗУ опор 10 Ом

Вариант защиты	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	<i>е</i>	<i>ж</i>	
Наличие троса	+				-			
Число ЗА на опоре	3	4	4	6	2	4	6	
Схема расстановки ЗА								
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору								
Параметры аппроксимации	для ЛО				для ЛР			
	<i>A</i> <sub>1</sub>	<i>T</i> <sub>1</sub>	<i>A</i> <sub>2</sub>	<i>T</i> <sub>2</sub>	<i>A</i> <sub>1</sub>	<i>T</i> <sub>1</sub>	<i>A</i> <sub>2</sub>	<i>T</i> <sub>2</sub>
<i>a</i>	0.006109	-0.002884	0.001229	-0.001023	0.006282	-0.002241	0.0009784	-0.001012
<i>б</i>	0.006127	-0.002682	0.00095	-0.0009588	0.006212	-0.002641	0.000952	-0.001134
<i>в</i>	0.006563	-0.002557	0.0006304	-0.0007807	0.006444	-0.002531	0.0006682	-0.000778
<i>г</i>	0.005956	-0.002888	0.001319	-0.001062	0.001479	-0.001749	0.006554	-0.003997
<i>д</i>	0.6206	-0.003016	0.1225	-0.001023	0.6362	-0.002891	0.1445	-0.001029
<i>е</i>	0.6193	-0.00305	0.1241	-0.00105	0.6861	-0.002885	0.1246	-0.001011
<i>ж</i>	0.7506	-0.003432	0.1443	-0.001106	0.7213	-0.002944	0.1183	-0.001032

Примечания.

- 1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_w(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;
- 2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 1000 до 5000 кДж.

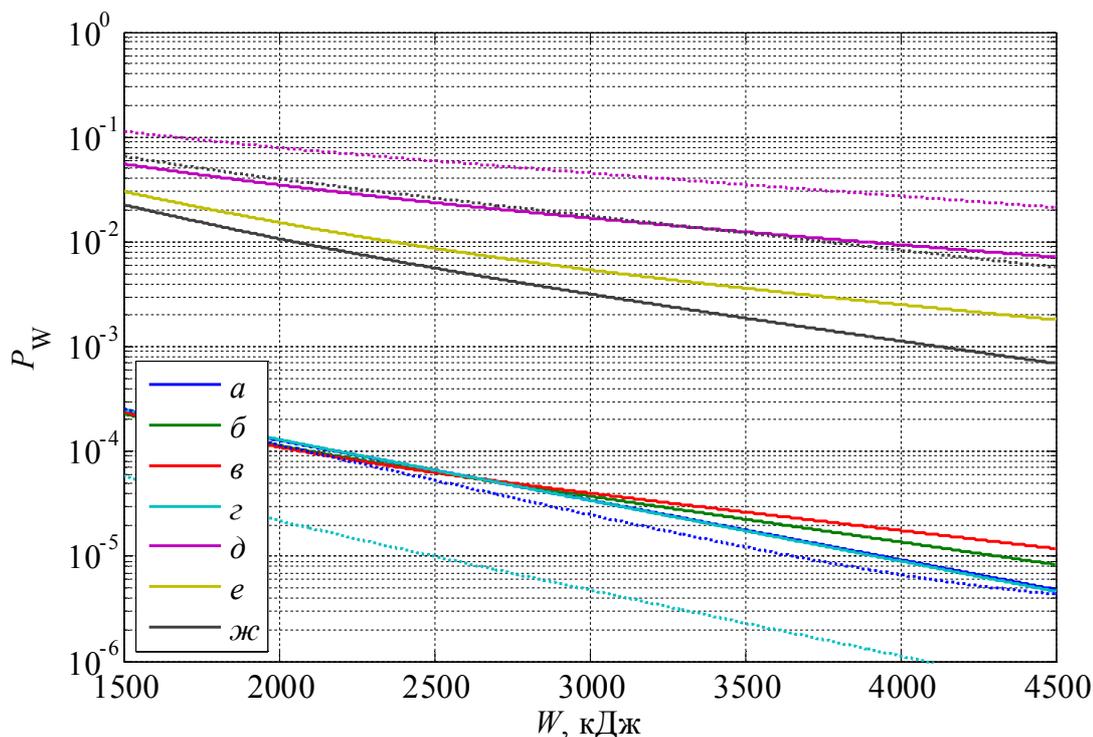


Рисунок Б.30 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на двухцепных одно-стоечных опорах ВЛ 330 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 50 Ом

Таблица Б.30 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий в ЗА при сопротивлении ЗУ опор 50 Ом

Вариант защиты	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	<i>е</i>	<i>ж</i>	
Наличие троса	+				-			
Число ЗА на опоре	3	4	4	6	2	4	6	
Схема расстановки ЗА								
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору								
Параметры аппроксимации	для ЛО				для ЛР			
	<i>A</i> <sub>1</sub>	<i>T</i> <sub>1</sub>	<i>A</i> <sub>2</sub>	<i>T</i> <sub>2</sub>	<i>A</i> <sub>1</sub>	<i>T</i> <sub>1</sub>	<i>A</i> <sub>2</sub>	<i>T</i> <sub>2</sub>
<i>a</i>	0.01251	-0.005523	0.001765	-0.001311	0.002693	-0.001576	4.808e-07	0.0003298
<i>б</i>	0.00591	-0.002971	0.0007162	-0.0009889	0.003022	-0.001551	4.132e-07	0.0003329
<i>в</i>	0.01081	-0.003047	0.0004228	-0.000794	0.01098	-0.002977	0.0003909	-0.000892
<i>г</i>	0.0002122	-0.001283	0.001669	-0.001342	0.01588	-0.004541	0.0003673	-0.001447
<i>д</i>	0.2947	-0.001698	0.0696	-0.00051	0.8349	-0.002547	0.2017	-0.0004996
<i>е</i>	0.3635	-0.001955	0.02746	-0.0006114	0.7426	-0.001703	0.0832	-0.000493
<i>ж</i>	0.3742	-0.002382	0.05153	-0.00096	0.9939	-0.002957	0.1658	-0.0007472

Примечания.

1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_w(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;

2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 1000 до 5000 кДж.

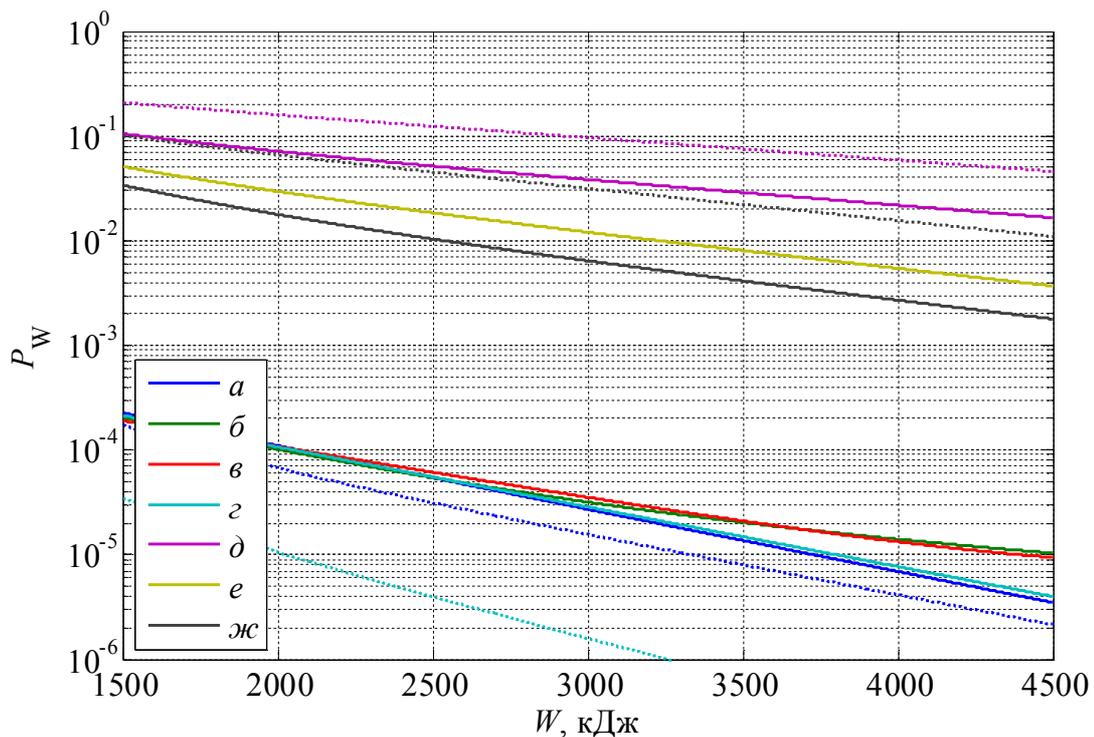


Рисунок Б.31 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на двухцепных одно- стоечных опорах ВЛ 330 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 100 Ом

Таблица Б.31 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий в ЗА при сопротивлении ЗУ опор 100 Ом

Вариант защиты	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	<i>е</i>	<i>ж</i>	
Наличие троса	+				-			
Число ЗА на опоре	3	4	4	6	2	4	6	
Схема расстановки ЗА								
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опоры								
Параметры аппроксимации	для ЛО				для ЛР			
	<i>A</i> <sub>1</sub>	<i>T</i> <sub>1</sub>	<i>A</i> <sub>2</sub>	<i>T</i> <sub>2</sub>	<i>A</i> <sub>1</sub>	<i>T</i> <sub>1</sub>	<i>A</i> <sub>2</sub>	<i>T</i> <sub>2</sub>
<i>a</i>	0.001166	-0.00258	0.001561	-0.001356	0.0007917	-0.001313	0.01438	-0.003617
<i>б</i>	0.00196	-0.001624	5.88e-05	-0.0004163	0.0004917	-0.011233	0.00098	-0.001617
<i>в</i>	0.001059	-0.001146	2.543e-07	0.0005707	0.0004122	-0.001013	0.00964	-0.002717
<i>г</i>	0.01977	-0.005136	0.001478	-0.001314	0.02365	-0.005106	0.0003685	-0.001815
<i>д</i>	0.5912	-0.002292	0.197	-0.0005507	0.5688	-0.00302	0.4259	-0.0004948
<i>е</i>	0.4172	-0.002223	0.1134	-0.0007619	0.9781	-0.002171	0.2309	-0.0004966
<i>ж</i>	0.4124	-0.002272	0.06811	-0.0008111	0.7358	-0.002807	0.2577	-0.0007012

Примечания.

- 1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_w(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;
- 2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 1000 до 5000 кДж.

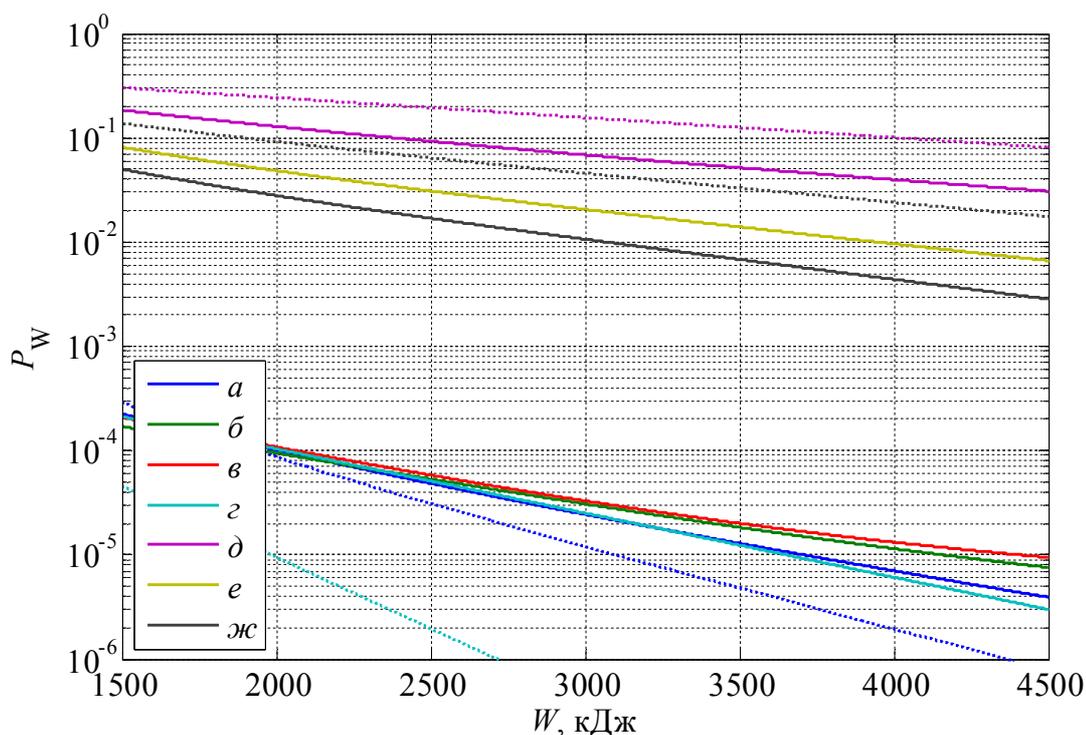


Рисунок Б.32 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на двухцепных одно-стоечных опорах ВЛ 330 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 200 Ом

Таблица Б.32 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий в ЗА при сопротивлении ЗУ опор 200 Ом

Вариант защиты	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	<i>е</i>	<i>ж</i>	
Наличие троса	+				-			
Число ЗА на опору	3	4	4	6	2	4	6	
Схема расстановки ЗА								
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору								
Параметры аппроксимации	для ЛО				для ЛР			
	<i>A</i> <sub>1</sub>	<i>T</i> <sub>1</sub>	<i>A</i> <sub>2</sub>	<i>T</i> <sub>2</sub>	<i>A</i> <sub>1</sub>	<i>T</i> <sub>1</sub>	<i>A</i> <sub>2</sub>	<i>T</i> <sub>2</sub>
<i>a</i>	0.003011	-0.002102	0.0005023	-0.001092	0.05098	-0.00406	0.00266	-0.001805
<i>б</i>	0.001039	-0.001229	9.3e-06	-0.0002196	0.05113	-0.00512	0.00276	-0.002231
<i>в</i>	0.00166	-0.001431	2.371e-05	-0.0002776	0.00163	-0.001561	2.131e-05	-0.0002855
<i>г</i>	3.044e-05	-0.003449	0.001773	-0.001418	0.005167	-0.003148	0.1093	-0.008292
<i>д</i>	0.4496	-0.001246	0.2289	-0.0004582	0.5863	-0.00044	0	0
<i>е</i>	0.6084	-0.002219	0.1784	-0.0007323	0.4561	-0.001214	0.2195	-0.0004182
<i>ж</i>	0.6529	-0.002679	0.1416	-0.0008689	0.4136	-0.001819	0.2803	-0.0006164

Примечания.

- 1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_w(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;
- 2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 1000 до 5000 кДж.

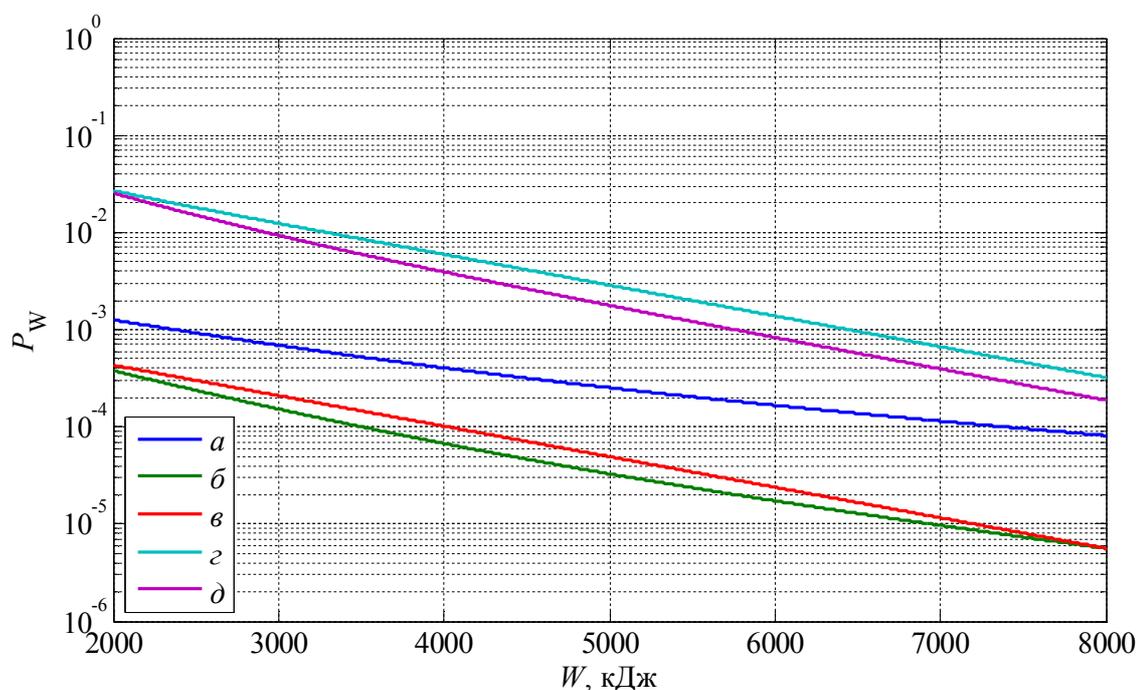


Рисунок Б.33 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на одноцепных порталных опорах ВЛ 500 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 10 Ом

Таблица Б.33 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий в ЗА при сопротивлении ЗУ опор 10 Ом

Вариант защиты	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
Наличие троса	+			-	
Число ЗА на опору	2	3	1	3	
Схема расстановки ЗА					
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору					
Параметры аппроксимации	для ЛО				
	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$	
<i>a</i>	0.004196	-0.0008096	0.0007733	-0.0002918	
<i>б</i>	0.00263	-0.001126	0.0002799	-0.0004958	
<i>в</i>	0.01632	-0.0007303	-0.01448	-0.0007312	
<i>г</i>	0.7844	-0.003134	0.1102	-0.0007292	
<i>д</i>	0.2796	-0.001668	0.06823	-0.0007366	

Примечания.

- 1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_w(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;
- 2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 2000 до 8000 кДж.

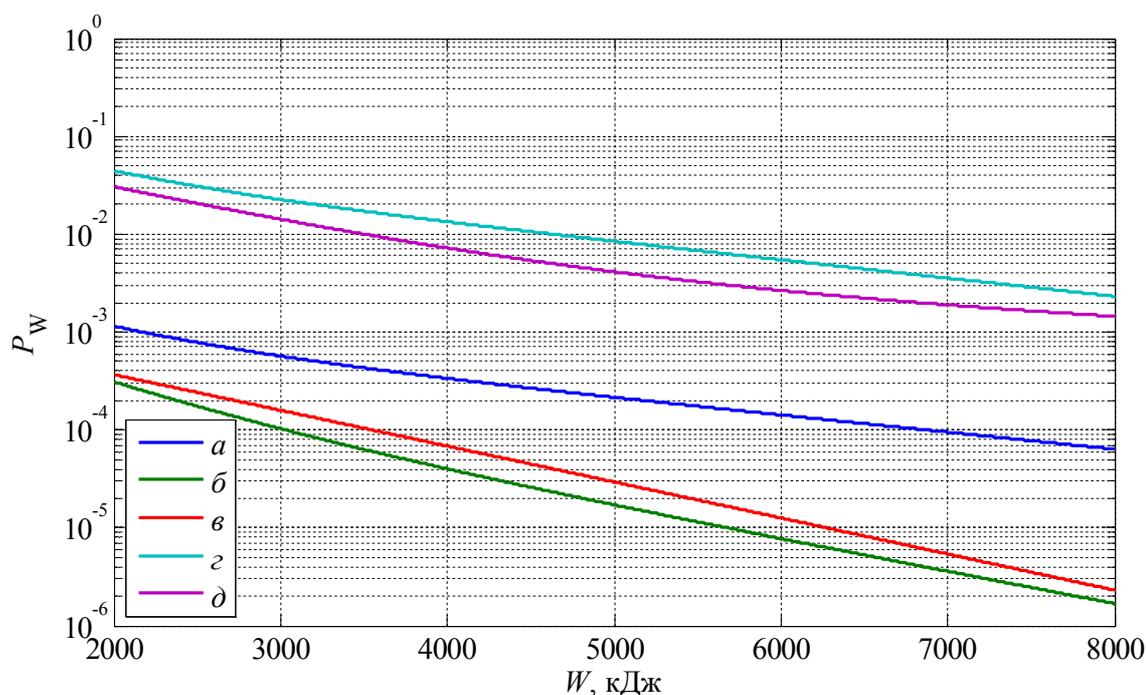


Рисунок Б.34 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на одноцепных порталных опорах ВЛ 500 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 50 Ом

Таблица Б.34 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий в ЗА при сопротивлении ЗУ опор 50 Ом

Вариант защиты	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
Наличие троса	+			-	
Число ЗА на опору	2	3	1	3	
Схема расстановки ЗА					
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору					
Параметры аппроксимации	для ЛО				
	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$	
<i>a</i>	0.009288	-0.001508	0.001554	-0.0003996	
<i>б</i>	0.004087	-0.001622	0.0006859	-0.0007517	
<i>в</i>	0.08387	-0.0007989	-0.0819	-0.000798	
<i>г</i>	0.3426	-0.001578	0.07052	-0.0004268	
<i>д</i>	0.1587	-0.0008927	0.005822	-0.0001853	

Примечания.

- 1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_w(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;
- 2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 2000 до 8000 кДж.

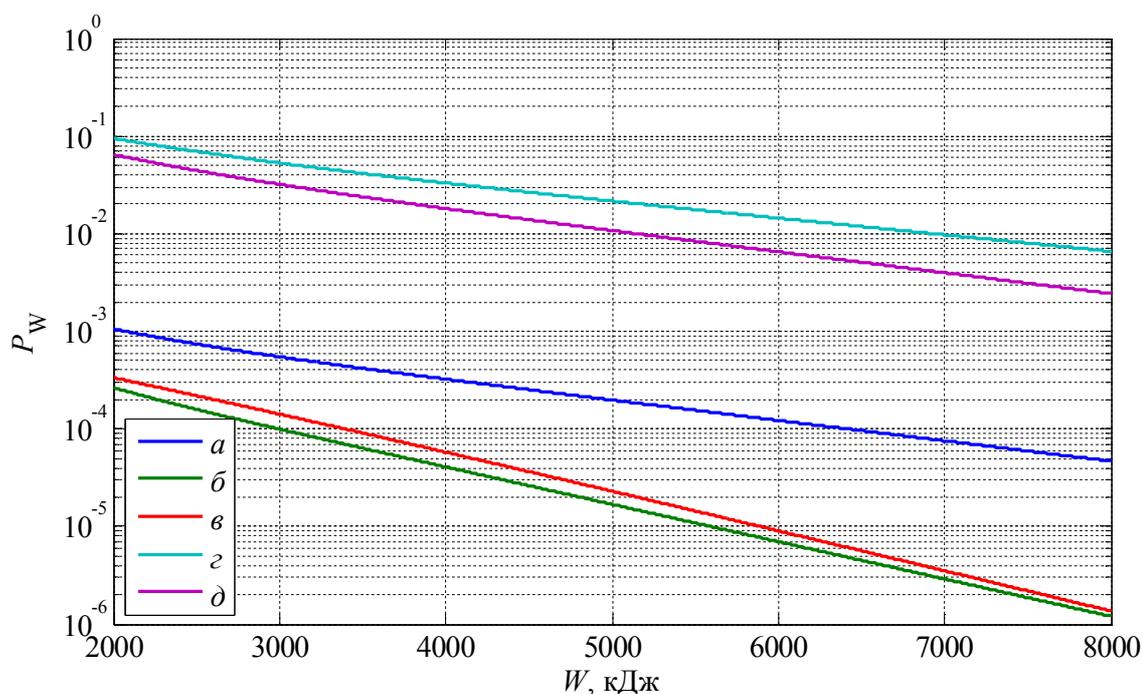


Рисунок Б.35 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на одноцепных порталных опорах ВЛ 500 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 100 Ом

Таблица Б.35 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий в ЗА при сопротивлении ЗУ опор 100 Ом

Вариант защиты	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
Наличие троса	+			-	
Число ЗА на опору	2	3	1	3	
Схема расстановки ЗА					
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору					
Параметры аппроксимации	для ЛО				
	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$	
<i>a</i>	0.01142	-0.001949	0.002173	-0.0004798	
<i>б</i>	0.01174	-0.002998	0.001379	-0.0008801	
<i>в</i>	0.003017	-0.0009597	-0.001629	-0.001362	
<i>г</i>	0.3928	-0.001337	0.1474	-0.0003886	
<i>д</i>	0.4495	-0.001603	0.1241	-0.0004915	

Примечания.

- 1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_w(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;
- 2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 2000 до 8000 кДж.

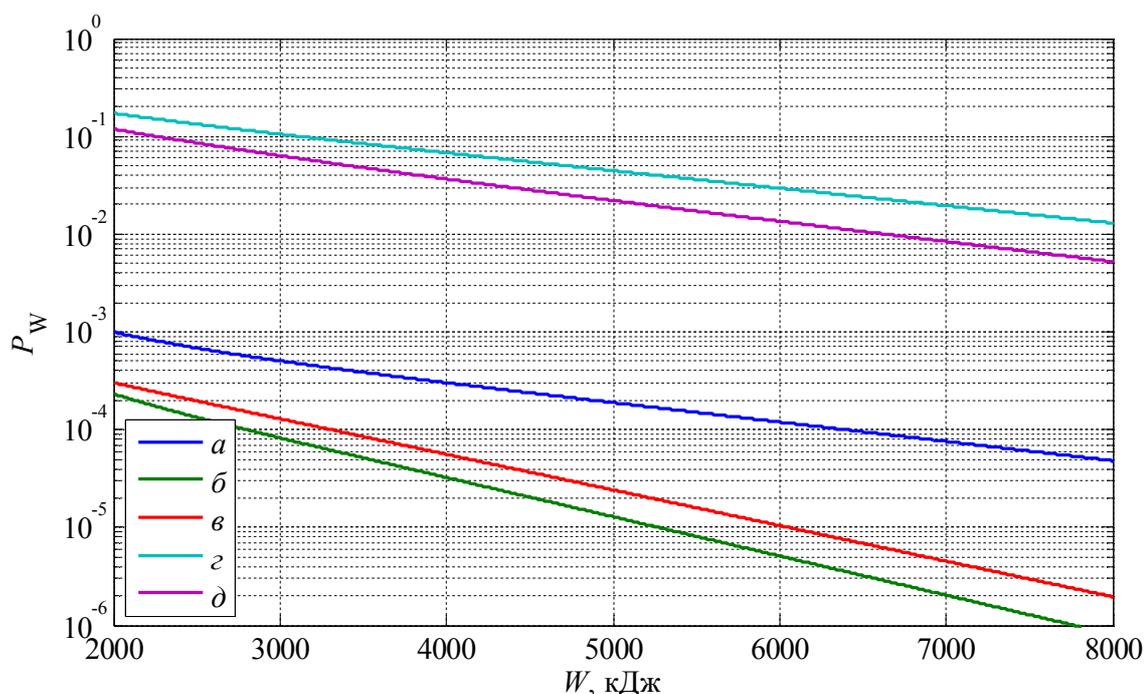


Рисунок Б.36 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на одноцепных порталных опорах ВЛ 500 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 200 Ом

Таблица Б.36 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий в ЗА при сопротивлении ЗУ опор 200 Ом

Вариант защиты	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
Наличие троса	+			-	
Число ЗА на опору	2	3	1	3	
Схема расстановки ЗА					
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опоры					
Параметры аппроксимации	для ЛО				
	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$	
<i>a</i>	0.01242	-0.001935	0.001832	-0.0004546	
<i>б</i>	0.03155	-0.003526	0.001307	-0.0009233	
<i>в</i>	0.03364	-0.004629	0.001603	-0.0008381	
<i>г</i>	0.3829	-0.001447	0.3421	-0.0004089	
<i>д</i>	0.3803	-0.001233	0.22	-0.0004676	

Примечания.

- 1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_w(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;
- 2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 2000 до 8000 кДж.

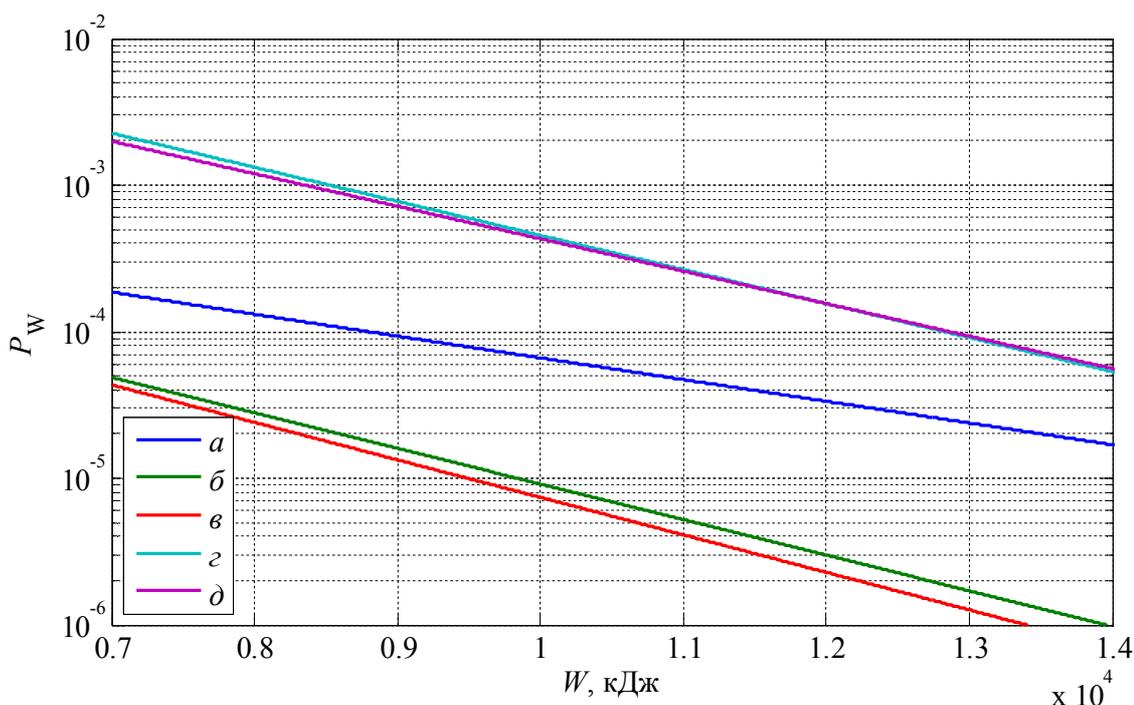


Рисунок Б.37 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на одноцепных порталных опорах ВЛ 750 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 10 Ом

Таблица Б.37 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий в ЗА при сопротивлении ЗУ опор 10 Ом

Вариант защиты	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
Наличие троса	+			-	
Число ЗА на опору	2	3	1	3	
Схема расстановки ЗА					
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опоры					
Параметры аппроксимации	для ЛО				
	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$	
<i>a</i>	0.01364	-0.001227	0.001999	-0.0003406	
<i>б</i>	0.01381	-0.002312	0.002464	-0.0005594	
<i>в</i>	0.01322	-0.002372	0.002692	-0.0005893	
<i>г</i>	0.09606	-0.0005352	0.4698	-0.002091	
<i>д</i>	0.3674	-0.001649	0.07078	-0.0005099	

Примечания.

- 1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_W(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;
- 2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 2000 до 15000 кДж.

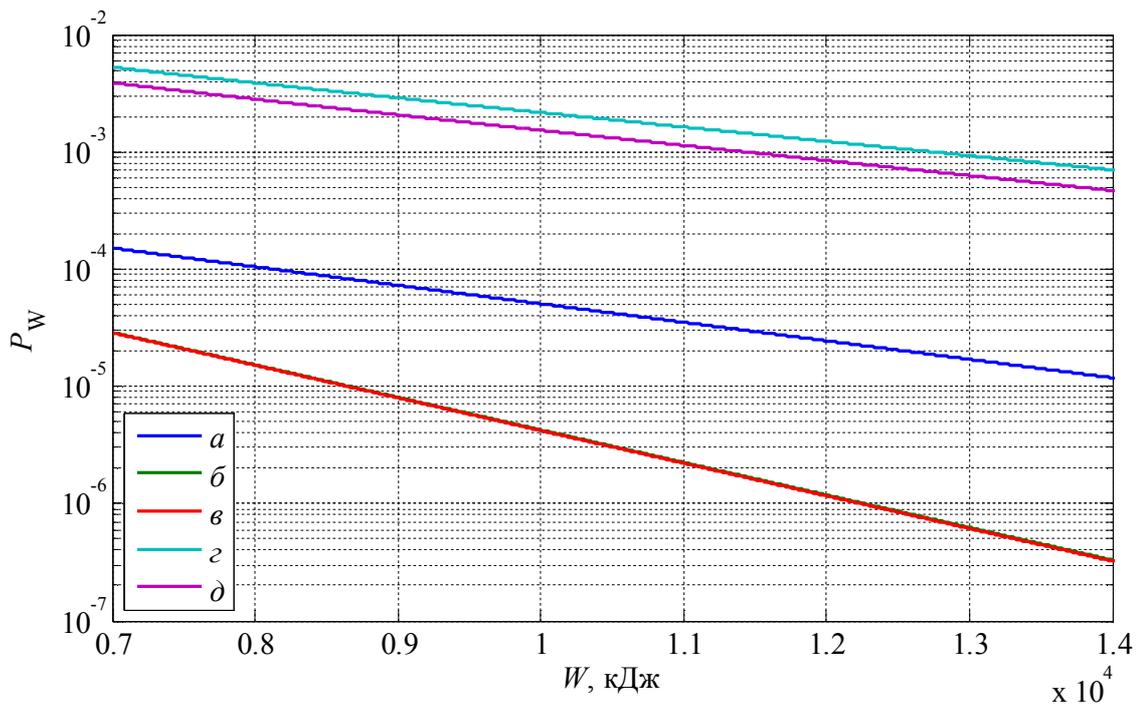


Рисунок Б.38 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на одноцепных порталных опорах ВЛ 750 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 50 Ом

Таблица Б.38 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий в ЗА при сопротивлении ЗУ опор 50 Ом

Вариант защиты	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
Наличие троса	+			-	
Число ЗА на опору	2	3	1	3	
Схема расстановки ЗА					
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опоры					
Параметры аппроксимации	для ЛО				
	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$	
<i>a</i>	0.01413	-0.001347	0.001908	-0.000363	
<i>б</i>	0.01658	-0.002752	0.002534	-0.0006388	
<i>в</i>	0.01725	-0.00283	0.002568	-0.0006414	
<i>г</i>	0.2372	-0.0009524	0.03533	-0.00028	
<i>д</i>	0.22	-0.000991	0.02887	-0.0002945	

Примечания.

- 1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_W(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;
- 2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 2000 до 15000 кДж.

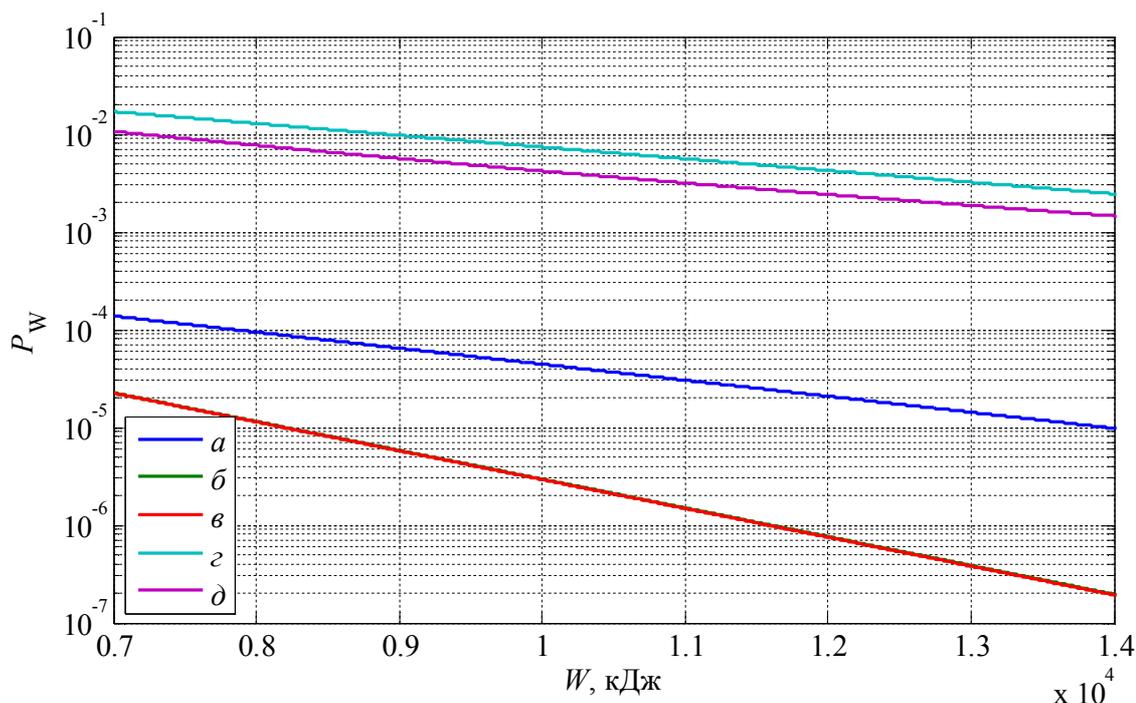


Рисунок Б.39 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на одноцепных порталных опорах ВЛ 750 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 100 Ом

Таблица Б.39 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий в ЗА при сопротивлении ЗУ опор 100 Ом

Вариант защиты	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
Наличие троса	+			-	
Число ЗА на опору	2	3	1	3	
Схема расстановки ЗА					
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опору					
Параметры аппроксимации	для ЛО				
	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$	
<i>a</i>	0.01442	-0.001416	0.001932	-0.0003773	
<i>б</i>	0.023	-0.003204	0.002612	-0.0006781	
<i>в</i>	0.02026	-0.003145	0.002627	-0.0006798	
<i>г</i>	0.4271	-0.001106	0.1167	-0.0002758	
<i>д</i>	0.1382	-0.0004691	0.02427	-0.000211	

Примечания.

- 1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_w(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;
- 2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 2000 до 15000 кДж.

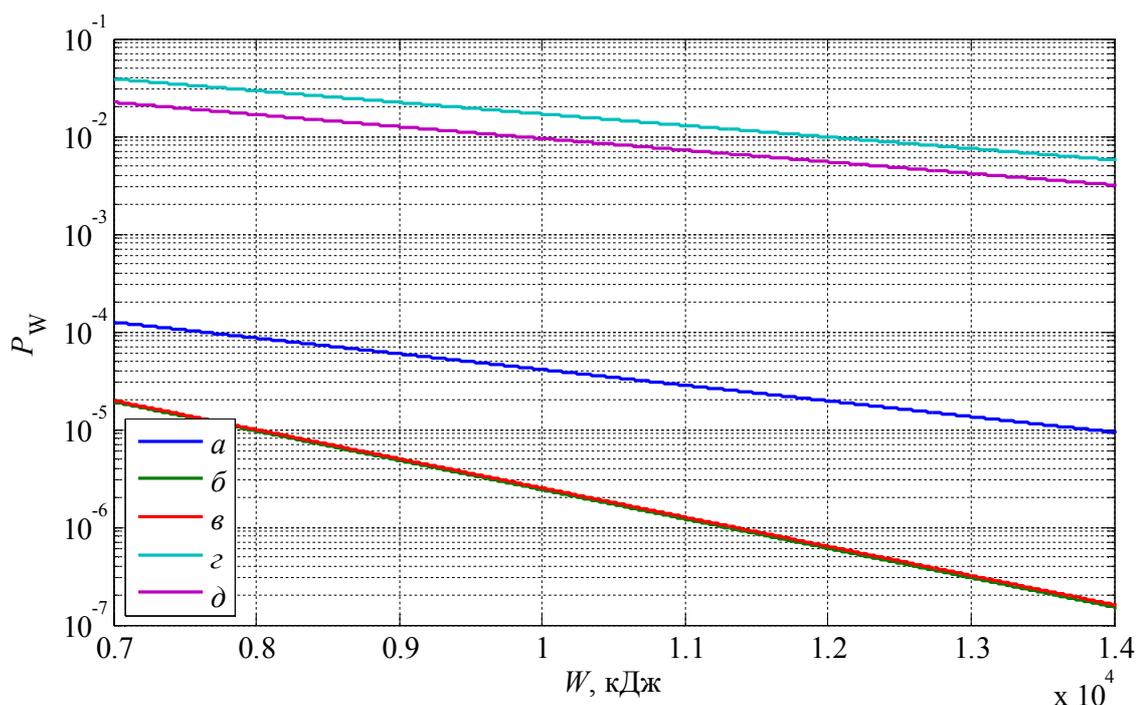


Рисунок Б.40 Интегральные распределения энергий в ЗА, установленных на одноцепных порталных опорах ВЛ 750 кВ, при сопротивлении ЗУ опор 200 Ом

Таблица Б.40 Значения параметров аппроксимаций для интегральных распределений энергий в ЗА при сопротивлении ЗУ опор 200 Ом

Вариант защиты	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
Наличие троса	+			-	
Число ЗА на опору	2	3	1	3	
Схема расстановки ЗА					
○ – ЗА отсутствует; ● – ЗА установлен; ◐ – ЗА установлен через опоры					
Параметры аппроксимации	для ЛО				
	$A_1$	$T_1$	$A_2$	$T_2$	
<i>a</i>	0.01031	-0.001249	0.001651	-0.0003695	
<i>б</i>	0.03043	-0.003184	0.002435	-0.0006914	
<i>в</i>	0.03091	-0.003388	0.002453	-0.0006878	
<i>г</i>	0.3867	-0.0008969	0.2522	-0.0002704	
<i>д</i>	0.44	-0.0008748	0.1443	-0.0002727	

Примечания.

- 1) аппроксимация интегральных распределений энергий в ЗА производится с помощью функции  $P_w(W) = A_1 e^{T_1 W} + A_2 e^{T_2 W}$ , в которой значения энергий  $W$  имеют размерность кДж;
- 2) используемая аппроксимация справедлива в диапазоне энергий  $W$  от 2000 до 15000 кДж.

## Библиография

1. СТО 56947007-29.240.55.192-2014 Нормы технологического проектирования воздушных линий электропередачи напряжением 35-750 кВ, ОАО «ФСК ЕЭС».
2. СТО 56947007-29.240.069-2011 Изоляторы подвесные для ВЛ 110–750 кВ. Методы испытаний, ОАО «ФСК ЕЭС».
3. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Глава 2.5. Воздушные линии электропередачи напряжением выше 1 кВ. Издание седьмое. Утверждена Приказом Минэнерго России от 20.05.2003 № 187.
4. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) Глава 4.2. Издание седьмое. Распределительные устройства и подстанции напряжением выше 1 кВ.
5. Методические указания по применению ограничителей в электрических сетях 110-750 кВ. Утверждены Департаментом стратегии развития и научно-технической политики РАО «ЕЭС России» 30.09.1999.
6. Методические указания по применению ограничителей перенапряжений нелинейных в электрических сетях 6–35 кВ. РАО «ЕЭС России». Утверждены Департаментом научно-технической политики и развития РАО "ЕЭС России" 27.04.2001.
7. МЭК 60099-4 (2014) Разрядники для защиты от перенапряжений. Часть 4. Оксидно-металлические разрядники без искровых промежутков для защиты от перенапряжений в системах переменного тока (IEC 60099-4 (2014) Surge arresters - Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems).
8. МЭК 60099-8 (2011) Разрядники для защиты от перенапряжений. Часть 8. Разрядники типа металл-оксид с последовательными зазорами (EGLA) для воздушных линий передачи и распределения для систем переменного тока свыше 1 кВ (IEC 60099-8 (2011) Surge arresters - Part 8: Metal-oxide surge arresters with external series gap (EGLA) for overhead transmission and distribution lines of a.c. systems above 1 kV).
9. СТО 56947007-29.130.15.105-2011 Методические указания по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок.
10. СО 153-34.20.501-06 Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. Приказ Минэнерго России от 19.06.2003 № 229.

11.РД 153-34.3-35.125-99 Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений (Части 1 – 3. Приложения к частям 1 – 3).