

РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ И ПРИМЕНЕНИЮ



# ОПН/ТЕЛ

# ОПН/ТЕЛ



ОГРАНИЧИТЕЛИ  
ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ  
НЕЛИНЕЙНЫЕ

## Содержание

<b>Введение</b>	<b>3</b>
<b>1. Номенклатура ОПН/TEL</b>	<b>4</b>
<b>2. Конструкция</b>	<b>6</b>
<b>3. Принцип действия</b>	<b>8</b>
<b>4. Технические характеристики</b>	<b>9</b>
<b>4.1. Технические характеристики ограничителей типа ОПН-КР/TEL</b>	<b>9</b>
Применяемые стандарты МЭК 60099-4, ГОСТ 163576-83	9
<b>4.2. Технические характеристики ограничителей типа ОПН-РТ/TEL</b>	<b>10</b>
Применяемые стандарты МЭК 60099-4, ГОСТ 163576-83	10
<b>4.3. Технические характеристики ограничителей типа ОПН/TEL-35, 110, 220</b>	<b>11</b>
Применяемые стандарты МЭК 60099-4, ГОСТ 163576-83	11
<b>4.4. Технические характеристики ограничителей типа ОПН/TEL-6, 0</b>	<b>12</b>
Применяемые стандарты МЭК 60099-4, ГОСТ 163576-83	12
<b>5. Габаритные и установочные чертежи</b>	<b>13</b>
<b>6. Руководство по применению</b>	<b>15</b>
<b>6.1. Рекомендации по выбору ОПН</b>	<b>15</b>
<b>6.2. Общая характеристика сетей</b>	<b>15</b>
<b>6.3. Методика выбора основных параметров ОПН</b>	<b>15</b>
<b>6.4. Выбор наибольшего длительно допустимого напряжения ОПН</b>	<b>16</b>
<b>6.5. Выбор номинального разрядного тока ОПН</b>	<b>17</b>
<b>6.6. Определение защитного уровня ограничителя</b>	<b>17</b>
<b>6.7. Выбор энергоемкости ограничителя</b>	<b>19</b>
<b>6.8. Выбор тока срабатывания взрывопредохранительного устройства</b>	<b>20</b>
<b>6.9. Выбор длины пути утечки внешней изоляции ограничителя</b>	<b>20</b>
<b>6.10. Выбор типа ограничителя</b>	<b>20</b>
<b>6.11. Особенности выбора ОПН для защиты от коммутационных перенапряжений</b>	<b>21</b>
<b>6.12. Выбор ограничителя для защиты ГРУ от дуговых перенапряжений</b>	<b>23</b>
<b>6.13. Выбор параметров ОПН для защиты от перенапряжений     нициируемых вакуумными выключателями</b>	<b>23</b>
<b>6.14. Место установки и рекомендации по применению ОПН</b>	<b>24</b>
<b>6.15. Установка и монтаж ОПН-КР, ОПН-РТи ОПН/TEL-6, 10</b>	<b>25</b>
<b>6.16. Установка и монтаж ОПН/TEL-35, 110, 220</b>	<b>27</b>

<b>6.17. Испытания перед вводом в эксплуатацию</b>	<b>29</b>
<b>6.18. Обслуживание в процессе эксплуатации</b>	<b>29</b>
<b>6.19. Типовые отказы и их устранение</b>	<b>30</b>
<b>6.20. Утилизация</b>	<b>31</b>
<b>7. Гарантии производителя</b>	<b>31</b>
<b>8. Комплектность поставки</b>	<b>31</b>
<b>9. Формулирование заказа</b>	<b>31</b>
<b>Приложение 1</b> Термины и определения	<b>32</b>
<b>Приложение 2</b> Наименьшие допустимые расстояния от ОПН/TEL-35/40,5 и ОПН-У-35/4	<b>33</b>
<b>Приложение 3</b> Характеристики уровней изоляции сетей 6-35 кВ	<b>36</b>
<b>Приложение 4</b> Классификация и характеристика внутренних перенапряжений сетей 6-35 кВ	<b>38</b>
<b>П.4.1. Квазистационарные перенапряжения</b>	<b>38</b>
<b>П.4.2. Коммутационные перенапряжения</b>	<b>39</b>
<b>Лист регистрации изменений</b>	<b>45</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Нелинейные ограничители перенапряжений (ОПН) серии ОПН/TEL предназначены для использования в качестве основных средств защиты электрооборудования станций и сетей среднего и высокого классов напряжения переменного тока промышленной частоты 48–62 Гц от коммутационных и грозовых перенапряжений. При их разработке были использованы последние технологические достижения и опыт эксплуатации ОПН в отечественной и зарубежной практике. Ограничители рекомендуется применять вместо вентильных разрядников соответствующих классов напряжения при проектировании, эксплуатации, техническом перевооружении и реконструкции электроустановок.

Серия ОПН/TEL включает в себя четыре типа ограничителей:

**ОПН–КР/TEL** предназначены для надежной защиты электрооборудования в сетях класса напряжения 6–10 кВ с изолированной или резонансно заземлённой нейтралью. Рекомендуются для использования в распределительных сетях для защиты трансформаторов и двигателей. Изготавливаются для внутренней установки (УХЛ2 по ГОСТ 15150) и предназначены для эксплуатации на высоте над уровнем моря до 1000 м при температуре окружающей среды от минус 60° С до плюс 55° С и влажности окружающей среды:

- среднегодовое значение 80 % при 15° С;
- верхнее значение 100 % при 25° С.

**ОПН–РТ/TEL** предназначены для гарантированной защиты наиболее ответственного электрооборудования в сетях класса напряжения 3–10 кВ с изолированной или резонансно заземлённой нейтралью. Ограничители типа ОПН–РТ/TEL–3 специально разработаны для защиты выпрямителей тяговых подстанций электрифицированных железных дорог и другого электрооборудования класса напряжения 3 кВ (например, линейных высокочастотных заградителей воздушных линий электропередачи). Остальные типы ОПН–РТ/TEL рекомендуется применять в условиях частых и интенсивных воздействий перенапряжений для защиты трансформаторов электродуговых печей, изоляции кабель-

ных сетей, электрических генераторов, двигателей и т.п. Предназначены для эксплуатации на высоте над уровнем моря до 1000 м при температуре окружающей среды от минус 60° С до плюс 55° С для внутренней установки (УХЛ2 по ГОСТ 15150).

Влажность окружающей среды в эксплуатации:

- среднегодовое значение 80 % при 15° С;
- верхнее значение 100 % при 25° С.

ОПН/TEL–35,110,220 предназначены для защиты электрооборудования подстанций и воздушных линий электропередачи от грозовых и коммутационных перенапряжений в сетях класса напряжения 35 кВ с изолированной или компенсированной нейтралью и 110 кВ или 220 кВ с эффективно заземленной нейтралью. Предназначены для эксплуатации на высоте над уровнем моря до 1000 м при температуре окружающей среды от минус 60° С до плюс 55° С в условиях наружной установки (УХЛ1 по ГОСТ 15150). Влажность окружающей среды в эксплуатации:

- среднегодовое значение 80 % при 15° С;
- верхнее значение 100 % при 25° С.

ОПН/TEL–6, 10 предназначены для защиты электрооборудования распределительных устройств и аппаратов от грозовых и коммутационных перенапряжений в воздушных сетях класса напряжения 6–10 кВ с изолированной или резонансно заземлённой нейтралью. Ограничители могут быть использованы везде, где ранее предусматривалось применение вентильных разрядников РВО. Предназначены для эксплуатации на высоте над уровнем моря до 1000 м при температуре окружающей среды от минус 60° С до плюс 55° С в условиях наружной установки (УХЛ1 по ГОСТ 15150).

Влажность окружающей среды в эксплуатации:

- среднегодовое значение 80 % при 15° С;
- верхнее значение 100 % при 25° С.

С начала 90-х годов 20-го века ограничители серии ОПН/TEL проявили себя в эксплуатации как надежные и необслуживаемые высоковольтные аппараты, эффективно защищающие различные типы электрооборудования от перенапряжений. В настоящее время в странах Содружества и за рубежом в эксплуатации находится более 100000 ограничителей данного типа.

Наряду с известными преимуществами металлооксидных ограничителей перенапряжений, таких, как отсутствие сопровождающего тока после затухания волны перенапряжения, непрерывное подключение к защищаемой сети, способность поглощать большие энергии, и пр. ОПН/TEL обладают дополнительным набором привлекательных характеристик благодаря применению металлооксидных резисторов с нестареющими характеристиками в сочетании с применением уникальной технологии сборки в полимерный корпус:

- необслуживаемость на протяжении всего срока службы
- неограниченный коммутационный ресурс
- глубокий уровень ограничения перенапряжений
- широкий номенклатурный ряд рабочих напряжений.

- стабильность нестареющих характеристик
- взрывобезопасность и сейсмостойкость
- высокая надежность в эксплуатации
- стойкость к атмосферным загрязнениям
- удобство встраивания в распределительные устройства
- малые вес и габариты

При эксплуатации ОПН/TEL не требуется применение счетчика срабатывания, в следствие неограниченного коммутационного ресурса.

Ограничители перенапряжений ОПН/TEL полностью соответствуют требованиям международного стандарта МЭК 60099-4 и ГОСТ 163576-83.

Внешний вид ограничителей перенапряжений всех типов серии TEL представлен на иллюстрации ниже.

## 1. Номенклатура ОПН/TEL

Предприятие «Таврида Электрик» выпускает широкий параметрический ряд ограничителей перенапряжений серии TEL, отличающихся как номинальными параметрами, так и габаритными

и присоединительными размерами. Выпускаемые предприятием типоразмеры ОПН/TEL представлены в таблице 1.

Таблица 1.1

Обозначение	Класс напряжения сети, кВ	Ток пропускной способности, А	Длина пути утечки, мм	Высота, мм	Масса не более, кг
ОПН-КР/TEL- 6/6.0 УХЛ2	6	250	130	95	0.7
ОПН-КР/TEL- 6/6.6 УХЛ2	6	250	130	95	0.7
ОПН-КР/TEL- 6/6.9 УХЛ2	6	250	130	95	0.7
ОПН-КР/TEL-10/10.5 УХЛ2	10	250	180	125	0.9
ОПН-КР/TEL-10/11.5 УХЛ2	10	250	180	125	0.9
ОПН-КР/TEL-10/12.0 УХЛ2	10	250	180	125	0.9
ОПН-РТ/TEL- 3/4.0 УХЛ2	3	550	135	95	1.1
ОПН-РТ/TEL- 6/6.0 УХЛ2	6	550	135	95	1.1
ОПН-РТ/TEL- 6/6.9 УХЛ2	6	550	135	95	1.1
ОПН-РТ/TEL- 6/7.2 УХЛ2	6	550	135	95	1.1
ОПН-РТ/TEL- 10/10.5 УХЛ2	10	550	205	140	1.5
ОПН-РТ/TEL-10/11.5 УХЛ2	10	550	205	140	1.5
ОПН/TEL-35/40.5-550 УХЛ1	35	550	990	540	10
ОПН/TEL-110/73-550 УХЛ1	110	550	3200	980	20
ОПН/TEL-110/78-550 УХЛ1	110	550	3200	980	20
ОПН/TEL-110/84-550 УХЛ1	110	550	3200	980	20
ОПН/TEL-220/146-550 УХЛ1*	220	550	6400	1920	40
ОПН/TEL-220/156-550 УХЛ1*	220	550	6400	1920	40
ОПН/TEL-220/168-550 УХЛ1*	220	550	6400	1920	40
ОПН/TEL-6/7.6-250 УХЛ1	6	250	250	130	1.1
ОПН/TEL-10/12.6-250 УХЛ1	10	250	314	160	1.3

\* Планируются к выпуску в VI квартале 2005г.



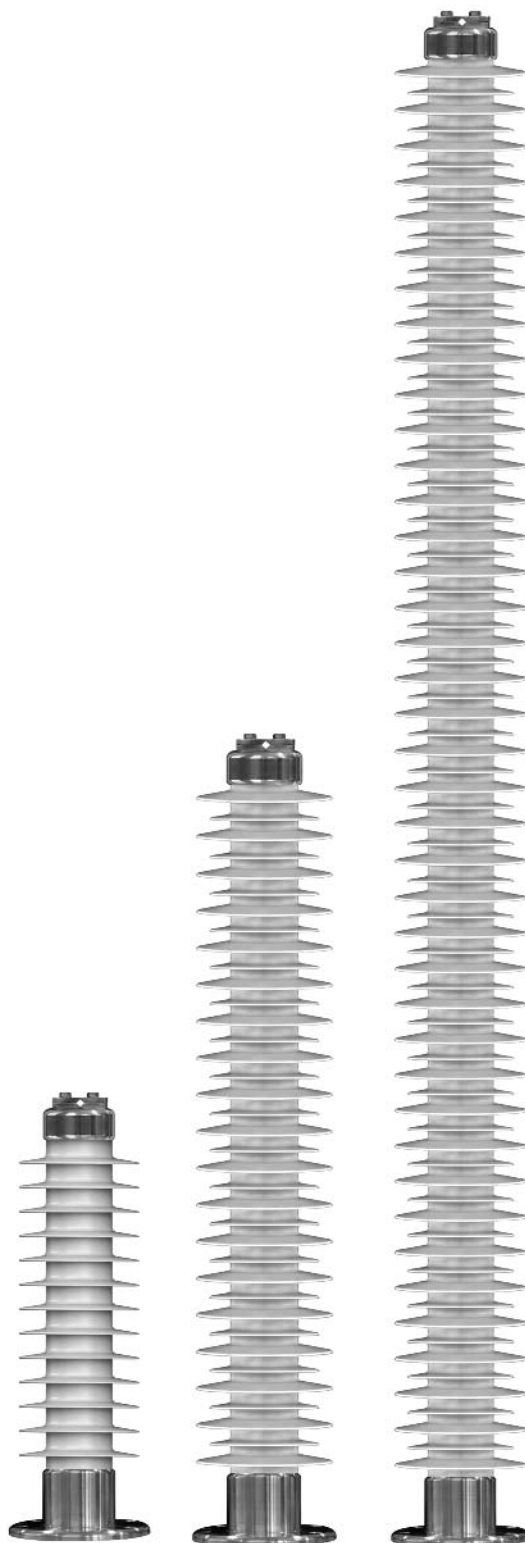
ОПН-КР/TEL



ОПН-РТ/TEL



ОПН/TEL-6. 10 УХЛ 1



ОПН/TEL-35,110,220

## 2. КОНСТРУКЦИЯ

Ограничители серии ОПН/TEL представляют собой высоковольтные аппараты, состоящие из последовательно соединенных металлооксидных резисторов, размещенных внутри изоляционного корпуса. Высоконелинейная вольтамперная характеристика резисторов позволяет обеспечить непрерывное и безопасное нахождение ОПН под напряжением, обеспечивая при этом глубокий уровень защиты электрооборудования при возникновении перенапряжений.

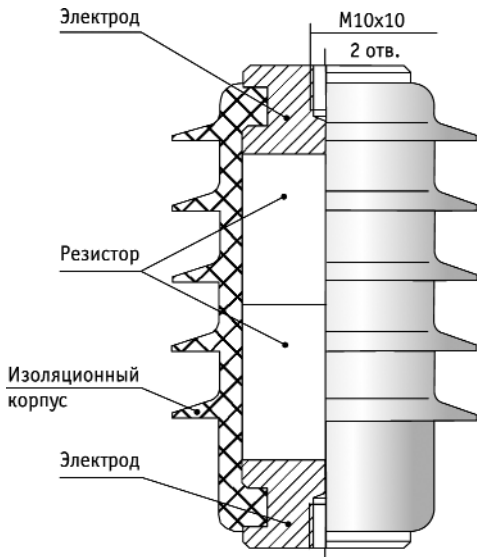
При изготовлении ОПН/TEL используются нелинейные металлооксидные резисторы с нестандартными характеристиками лучших мировых производителей. Электрические параметры каждого резистора хранятся в компьютерной базе данных для автоматического и оптимального комплектования ограничителей на заданные параметры.

Собственная технология сборки нелинейных резисторов в трекингостойкий полимерный корпус уникальна и аналогов в мировой практике не имеет.

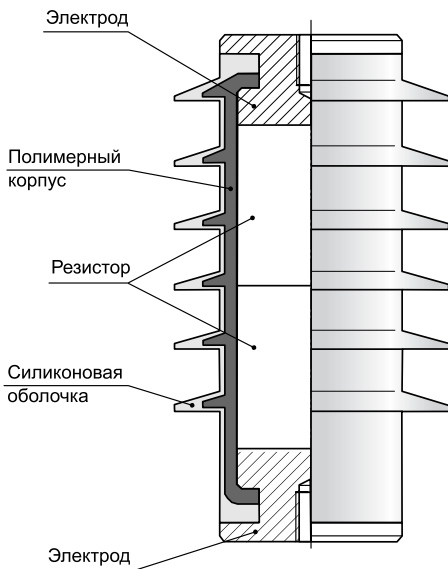
При сборке ограничителей типов ОПН-КР, ОПН-РТ и ОПН/TEL-6, 10 колонка резисторов заключается между металлическими электродами и опрессовывается в оболочку из специального атмосферостойкого полимера, который обеспечивает требуемые механические и изоляционные свойства ограничителя. Ограничители ОПН/TEL-6, 10 дополнительно покрываются

оболочкой из силиконовой резины. Эта конструкция отлично зарекомендовала себя при различных условиях эксплуатации, включая районы с высоким уровнем атмосферных загрязнений. Ограничители типа ОПН/TEL-35, 110, 220 представляют собой аппараты вертикальной установки опорного типа. Прочный стеклоэпоксидный цилиндр с последовательно соединенными резисторами внутри обеспечивает прекрасные механические свойства. Металлические фланцы и силиконовая изоляция, образующая одновременно как внешнюю изоляционную поверхность, так и внутреннюю изоляцию колонки резисторов, определяют заданные изоляционные свойства ограничителя. Взрывобезопасность ограничителя обеспечивается наличием предохранительного устройства для сброса давления, выполненного в виде специальных противовзрывных отверстий. Ограничители ОПН/TEL-35, 110, не требуют применения экранного кольца благодаря компьютерному комплектованию ОПН резисторами с параметрами, соответствующими расчетной неравномерности распределения напряжения по высоте ОПН.

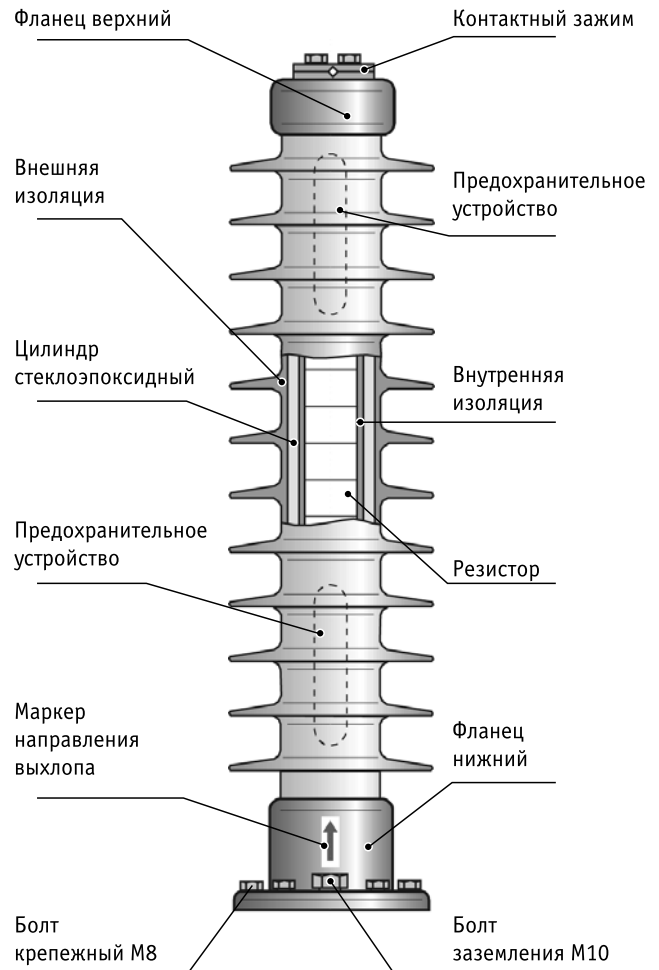
Общим преимуществом в конструкциях ограничителей серии ОПН/TEL является отсутствие воздушных полостей внутри корпуса, что исключает возникновение перекрытия внутренней изоляции ограничителя и его выход из строя по этой причине.



Конструкция ОПН-КР и ОПН-РТ



Конструкция ОПН/TEL-6, 10



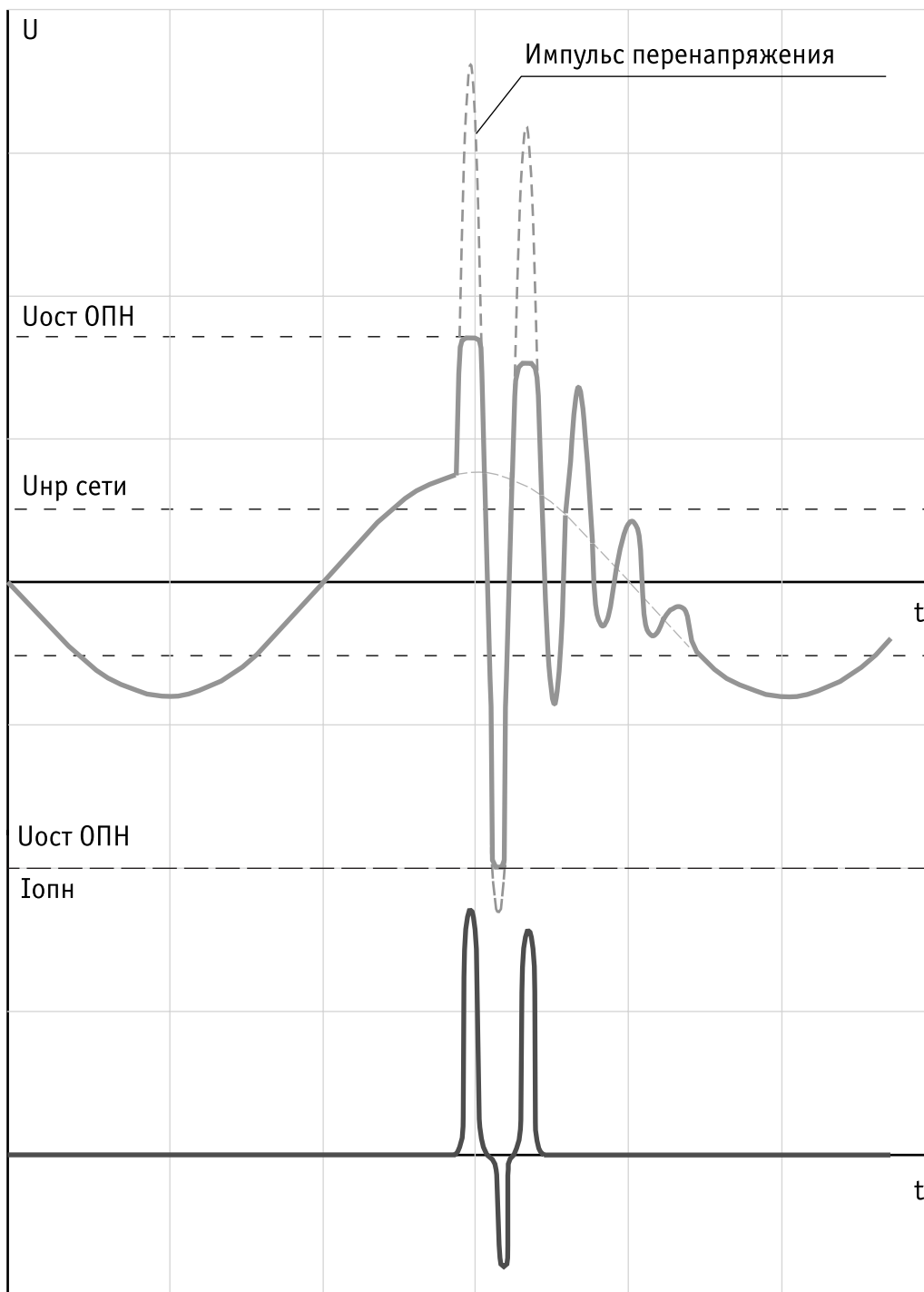
Конструкция ОПН/TEL-35



### 3. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

В нормальном рабочем режиме ток через ограничитель имеет емкостный характер и составляет десятые доли миллиампера. При возникновении волн перенапряжений резисторы ограничителя переходят в проводящее состояние и ограничи-

вают дальнейшее нарастание перенапряжения до уровня, безопасного для изоляции защищаемого электрооборудования. Когда перенапряжение снижается, ограничитель вновь возвращается в непроводящее состояние.



Графики изменения тока и напряжения на ОПН при повышении действующего напряжения

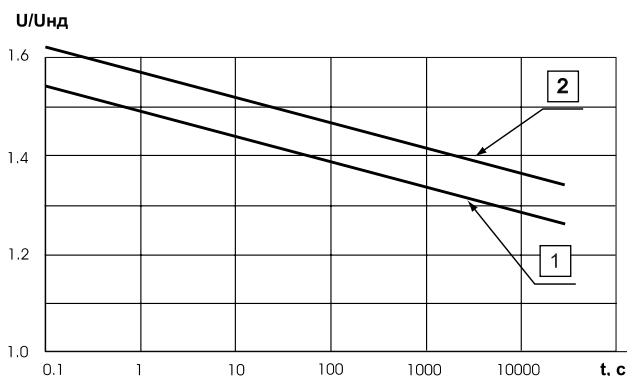
## 4. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ\*

### 4.1. Технические характеристики ограничителей типа ОПН–КР/TEL

Применяемые стандарты МЭК 60099–4, ГОСТ 163576–83 (в части касающейся)

Таблица 4.1

Наименование параметров	ОПН-КР/TEL–Х/Х УХЛ1(2)10/11.5				
	6/6.0	6/6.9	10/10.5	10/11.5	10/12.0
Класс напряжения сети, кВ	6	6	10	10	10
Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение, Унд, кВ	6.0	6.9	10.5	11.5	12.0
Номинальный разрядный ток 8/20 мкс, In, кА	10	10	10	10	10
Остающееся напряжение Uост, кВ, не более:					
•при коммутационном импульсе тока					
125 А, 30/60 мкс	14.3	16.2	24.8	26.9	29.7
250 А, 30/60 мкс	14.6	16.5	25.4	27.6	30.4
500 А, 30/60 мкс	15.0	17.5	26.1	28.3	31.3
•при грозовом импульсе тока					
5000 А, 8/20 мкс	17.7	20.0	30.7	33.3	36.9
10000 А, 8/20 мкс	19.0	21.5	33.0	35.8	39.6
20000 А, 8/20 мкс	21.2	24.0	36.7	39.9	44.1
при крутом импульсе тока 10000 А, 1/10 мкс	21.3	24.1	36.9	40.1	44.3
Емкостный ток проводимости Is, мА, не более:					
амплитуда	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
действующее значение	0.45	0.45	.45	0.45	0.45
Удельная энергия ОПН, кДж/кВ Унд, не менее	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
Максимальная амплитуда импульса тока 4/10 мкс, кА	100	100	100	100	100
Взрывобезопасный ток при коротком замыкании, Iкз, кА	16	16	16	16	16
Максимальное изгибающее усилие, Н	305	305	305	305	305



Характеристика «напряжение–время» ограничителей типа ОПН–КР/TEL при возникновении квазистационарных перенапряжений

1 — с предварительным нагружением 3.6 кДж/кВ Унд

2 — без предварительного нагружения энергией

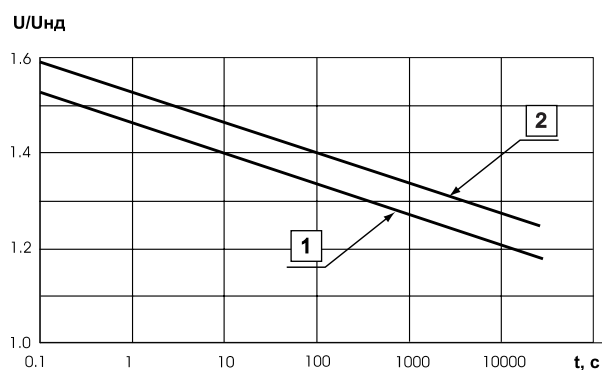
\* Основные термины и определения приведены в Приложении 1.

## 4.2. Технические характеристики ограничителей типа ОПН–РТ/TEL

Применяемые стандарты МЭК 60099–4, ГОСТ 163576–83 (в части касающейся)

Таблица 4.2

Наименование параметра	ОПН-РТ/TEL- X/X УХЛ2				
	3/4.0	6/6.0	6/6.9	10/10.5	10/11.5
Класс напряжения сети, кВ	3	6	6	10	10
Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение, Унд, кВ	4.0	6.0	6.9	10.5	11.5
Номинальный разрядный ток 8/20 мкс, I <sub>н</sub> , кА	10	10	10	10	10
Остающееся напряжение U <sub>ост</sub> , кВ, не более:					
• при коммутационном импульсе тока					
125 А, 1/10 мкс	8.9	13.3	15.3	23.2	25.4
250 А, 1/10 мкс	9.4	14.0	16.1	24.5	26.9
500 А, 1/10 мкс	9.6	14.4	16.6	25.2	27.6
• при грозовом импульсе тока					
5000 А, 1/10 мкс	11.5	17.2	19.7	30.0	32.8
10000 А, 1/10 мкс	12.5	18.7	21.5	32.7	35.8
20000 А, 1/10 мкс	14.0	21.0	24.1	36.6	40.1
• при крутом импульсе тока					
10000 А, 1/10 мкс	14.4	21.5	24.7	37.6	41.2
Емкостный ток проводимости, I <sub>с</sub> , мА, не более:					
амплитуда	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
действующее значение	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Удельная энергия ОПН, кДж/кВ Унд, не менее	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
Максимальная амплитуда импульса тока 4/10 мкс, кА	100	100	100	100	100
Взрывобезопасный ток при коротком замыкании, I <sub>кз</sub> , кА	20	20	20	20	20
Максимальное изгибающее усилие, Н	300	300	300	300	300



Характеристика «напряжение–время» ограничителей типа ОПН–РТ/TEL при возникновении квазистационарных перенапряжений

1 — с предварительным рассеиванием энергии 5.5 кДж/кВ Унд

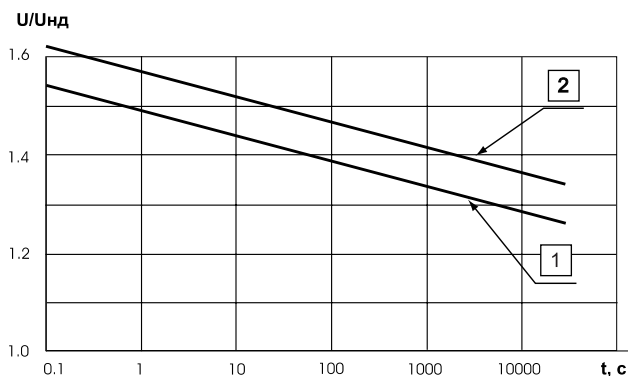
2 — без предварительного рассеивания энергии

### 4.3. Технические характеристики ограничителей типа ОПН/TEL–35,110,220

Применяемые стандарты МЭК 60099–4, ГОСТ 163576–83 (в части касающейся)

Таблица 4.3

Наименование параметра	ОПН/TEL- X/X-550 УХЛ1						
	35/40.5	110/73	110/78	110/84	220/146	220/156	220/168
Класс напряжения сети, кВ	35	110	110	110	220	220	220
Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение, Унд, кВ	40.5	73.0	78.0	84.0	146.0	156.0	168.0
Номинальный разрядный ток 8/20 мкс, Iн, кА	10	10	10	10	10	10	10
Остающееся напряжение Uост, кВ, не более:							
• при коммутационном импульсе тока							
125 А, 30/60 мкс	93	167	178	191	334	356	382
250 А, 30/60 мкс	98	176	188	202	352	376	404
500 А, 30/60 мкс	101	181	192	207	362	384	414
• при грозовом импульсе тока							
5000 А, 8/20 мкс	119	214	230	247	428	460	494
10000 А, 8/20 мкс	130	234	250	269	468	500	538
20000 А, 8/20 мкс	146	262	280	301	524	560	602
• при крутом импульсе тока							
10000 А, 1/10 мкс	153	276	295	317	552	590	634
Емкостный ток проводимости, I с, мА, не более:							
амплитуда	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
действующее значение	0,7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Удельная энергия ОПН, кДж/кВ Унд, не менее	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
Максимальная амплитуда импульса тока 4/10 мкс, кА	100	100	100	100	100	100	100
Взрывобезопасный ток при коротком замыкании, I кз, кА	30	30	30	30	30	30	30
Максимальное изгибающее усилие, Н	580	600	600	600	640	640	640



Характеристика «напряжение–время» ограничителей типа ОПН/TEL–35,110,220 при возникновении квазистационарных перенапряжений

1 — с предварительным рассеиванием энергии 5.5 кДж/кВ Унд

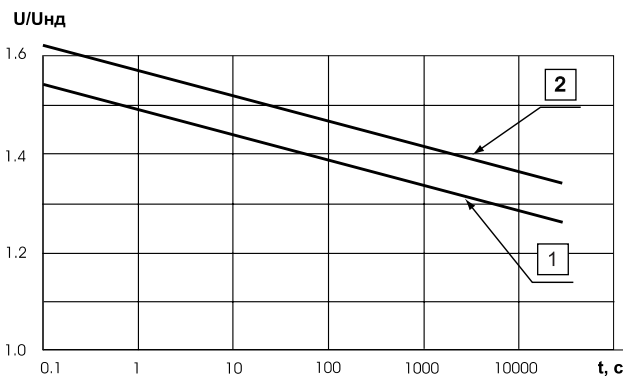
2 — без предварительного рассеивания энергии

#### 4.4. Технические характеристики ограничителей типа ОПН/TEL–6, 10

Применяемые стандарты МЭК 60099–4, ГОСТ 163576–83 (в части касающейся)

Таблица 4.4

Наименование параметров	ОПН/TEL–X/X–250 УХЛ1	
	6/7.6	10/12.6
Класс напряжения сети, кВ	6	10
Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение, Унд, кВ	7.6	12.6
Номинальный разрядный ток 8/20 мкс, Ин, кА	10	10
Остающееся напряжение $U_{ост}$ , кВ, не более:		
• при коммутационном импульсе тока		
125 А, 30/60 мкс	19.2	30.8
250 А, 30/60 мкс	19.6	31.5
500 А, 30/60 мкс	20.3	32.4
• при грозовом импульсе тока		
5000 А, 8/20 мкс	23.8	38.2
10000 А, 8/20 мкс	25.6	41.0
20000 А, 8/20 мкс	28.6	45.8
• при крутом импульсе тока		
10000 А, 1/10 мкс	28.7	46.0
Емкостный ток проводимости $I_c$ , мА, не более:		
амплитуда	0.6	0.6
действующее значение	0.45	0.45
Удельная энергия ОПН, кДж/кВ Унд, не менее	3.6	3.6
Максимальная амплитуда импульса тока 4/10 мкс, кА	100	100
Взрывобезопасный ток при коротком замыкании, $I_{кз}$ , кА	20	20
Максимальное изгибающее усилие, Н	335	335

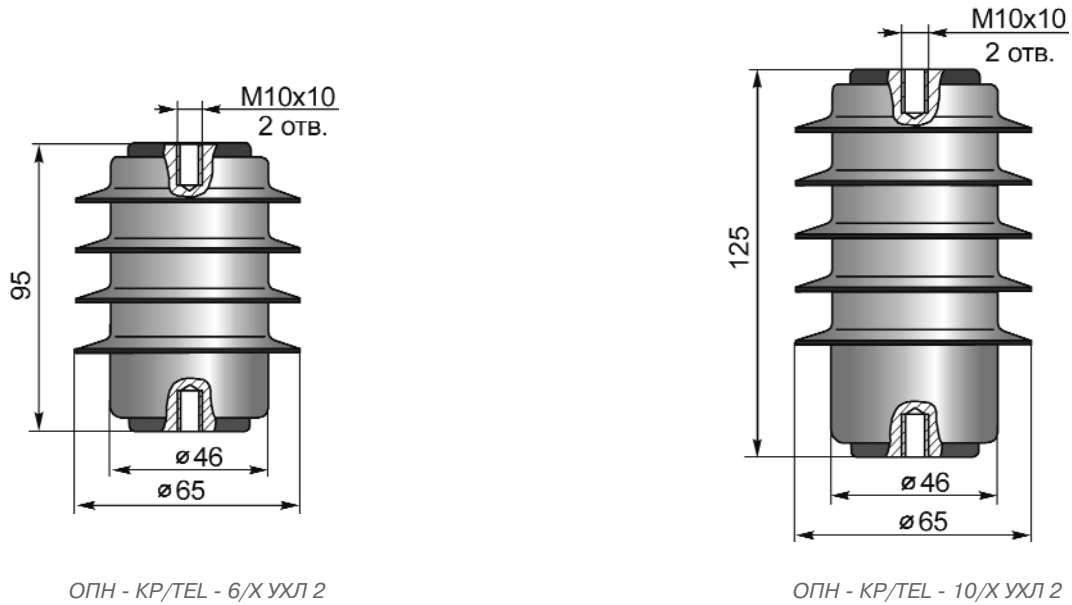


Характеристика «напряжение–время» ограничителей типа ОПН/TEL–6, 10 при возникновении квазистационарных перенапряжений

1 — с предварительным нагружением 3.6 кДж/кВ Унд

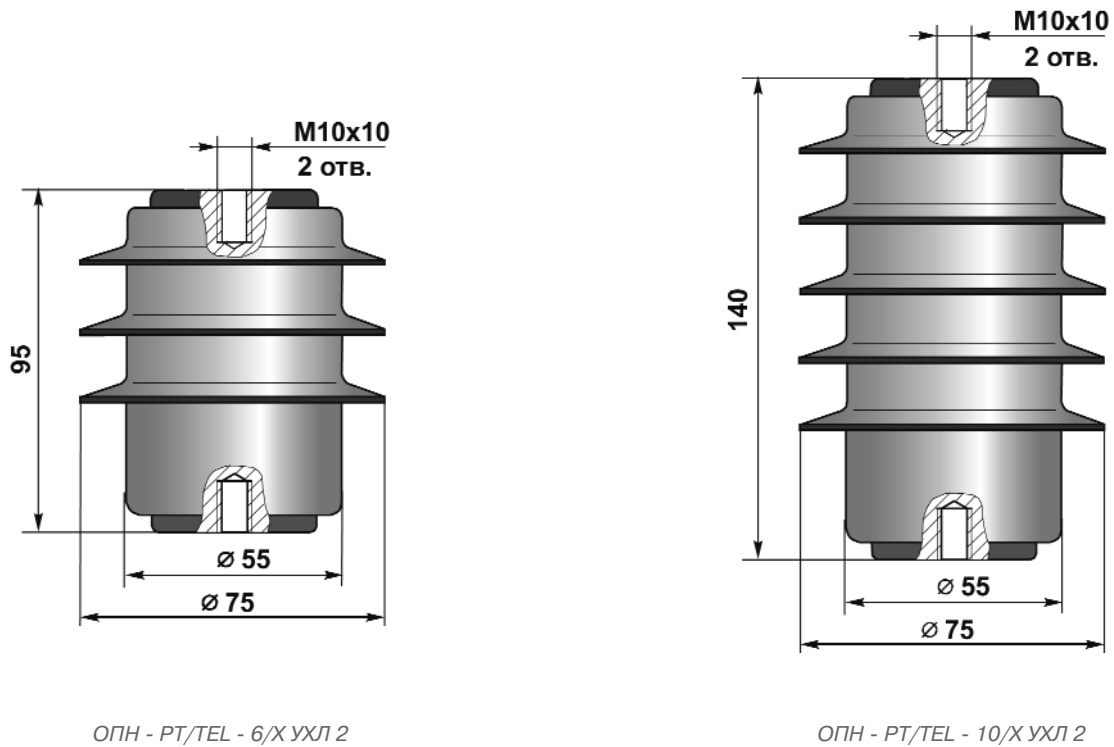
2 — без предварительного нагружения энергией

## 5. ГАБАРИТНЫЕ И УСТАНОВОЧНЫЕ ЧЕРТЕЖИ



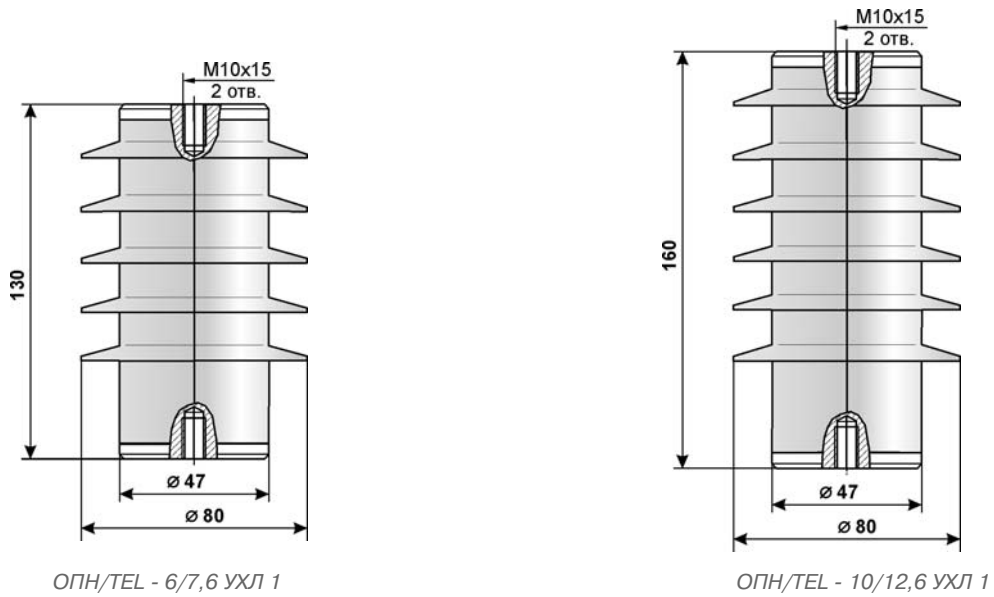
Габаритные и установочные чертежи ограничителей типа ОПН-КР/ТЕЛ

Рисунок 5.1



Габаритные и установочные чертежи ограничителей типа ОПН-РТ/ТЕЛ

Рисунок 5.2

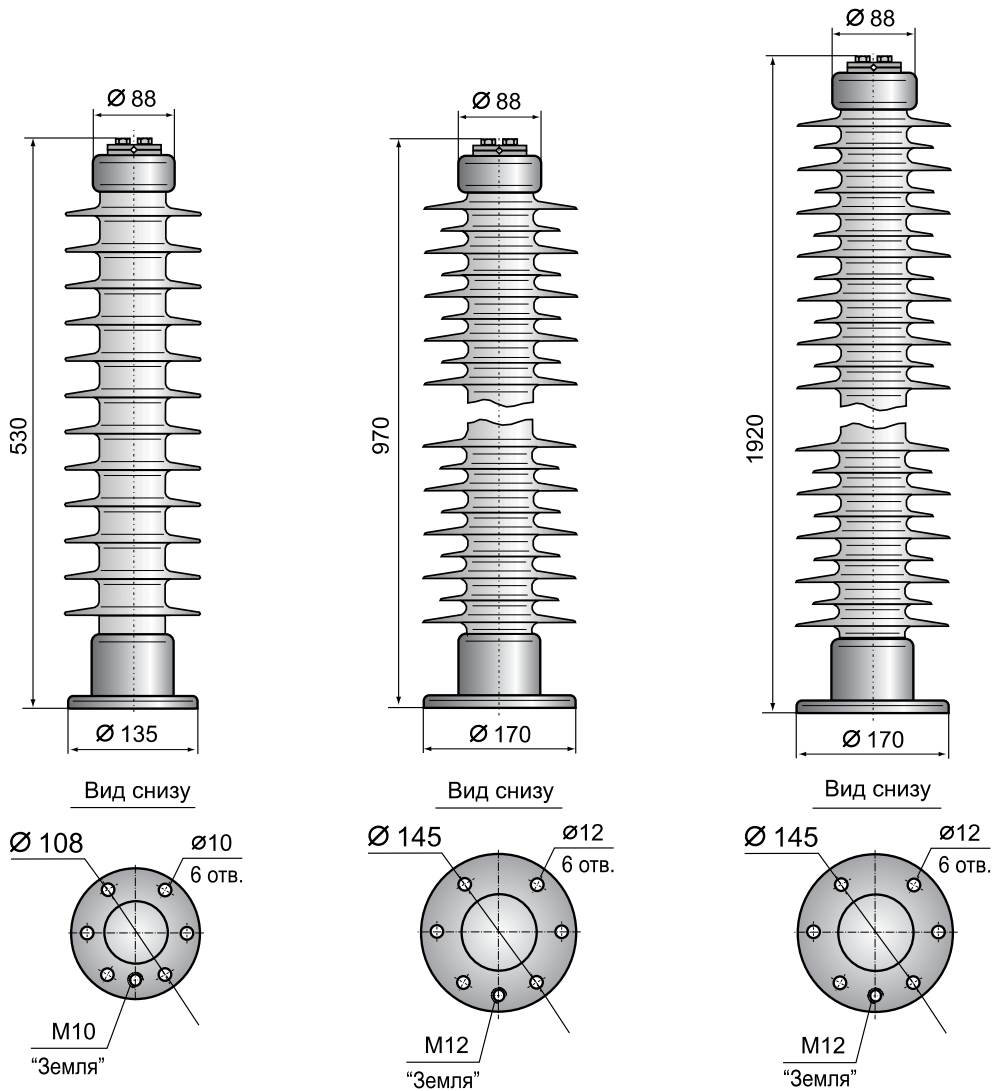


ОПН/ТЕЛ - 6/7,6 УХЛ 1

ОПН/ТЕЛ - 10/12,6 УХЛ 1

Габаритные и установочные чертежи ограничителей типа ОПН/ТЕЛ-6, 10

Рисунок 5.3



Вид снизу

Вид снизу

Вид снизу

ОПН/ТЕЛ - 35/Х УХЛ 1

ОПН/ТЕЛ - 110/Х УХЛ 1

ОПН/ТЕЛ - 220/Х УХЛ 1

Габаритные и установочные чертежи ограничителей типа ОПН/ТЕЛ-35, 110, 220

Рисунок 5.4

## 6. РУКОВОДСТВО ПО ПРИМЕНЕНИЮ

### 6.1. Рекомендации по выбору ОПН

Внедрение защитных аппаратов нового поколения сталкивается с значительными трудностями их правильного применения. В первую очередь это связано с недостаточностью нормативных документов, регламентирующих правильное использование ОПН в сетях 6-35 кВ. Перед энергетическими предприятиями, как правило, возникают две взаимопротиворечащие друг другу за-

дачи. С одной стороны глубоко ограничить перенапряжения, а с другой обеспечить надежную работу самого аппарата. Если приоритет при выборе параметров ОПН отдавать первой задаче, то снизится надежность работы ОПН. В обратном случае повышаются воздействия на изоляцию электрооборудования. Разрешению этой дилеммы посвящено настоящее руководство.

### 6.2. Общая характеристика сетей

Сети 6-35 кВ состоят из воздушных и кабельных линий электропередачи.

Электрооборудование сетей 6-35 кВ включает в себя коммутационные аппараты, измерительные трансформаторы тока и напряжения, силовые трансформаторы, генераторы, двигатели, синхронные компенсаторы, токоограничивающие и дугогасящие реакторы, конденсаторные батареи, устройства защиты от грозových и коммутационных перенапряжений.

Сети 6-35 кВ в большинстве случаев работают с изолированной или резонансно заземленной

(заземленной через дугогасящий реактор) нейтралью. В ряде случаев, например, в сетях собственных нужд и генераторных сетях находит применение заземление нейтрали трансформаторов и генераторов через резистор (резистивное заземление нейтрали).

Для обоснованного выбора ОПН как основного средства защиты от перенапряжений необходимо представлять, с одной стороны, уровень изоляции оборудования 6-35 кВ, а с другой стороны, уровень грозových и внутренних перенапряжений в этих сетях.

### 6.3. Методика выбора основных параметров ОПН

При выборе ОПН необходимо решить следующие основные задачи:

- ОПН должен ограничить коммутационные и грозových перенапряжения до значений, при которых обеспечивается надежная работа изоляции защищаемых электроустановок;
- ОПН должен надежно работать, не теряя своей термической устойчивости, при непрерывном воздействии наибольших рабочих напряжений сети;
- ОПН должен надежно работать, не теряя своей термической устойчивости, при воздействии квазистационарных перенапряжений в рабочих и аварийных режимах;
- ОПН должен быть взрывобезопасен при

протекании токов КЗ в результате внутренних повреждений;

- ОПН должен соответствовать механическим и климатическим условиям эксплуатации.

Для решения перечисленных задач необходима следующая информация о параметрах сети и оборудования:

- наибольшее рабочее напряжение сети;
- режим заземления нейтрали;
- схема и структура защищаемой подстанции с указанием расстояний по ошиновке между аппаратами;
- структура сети, прилегающей к подстанции, где устанавливаются ОПН;
- значения токов КЗ;



- наиболее вероятные виды грозových и внутренних перенапряжений;
- данные о составе релейной защиты и автоматики уставках времени срабатывания различных устройств защиты;
- сведения о характеристиках генераторов, трансформаторов, синхронных компенсаторов,

электродвигателей и другой нагрузки;

- допустимый уровень изоляции оборудования.

В настоящем документе рассматриваются общие рекомендации, по выбору ОПН, а также рекомендации учитывающие особенности тех или иных электроустановок.

#### 6.4. Выбор наибольшего длительно допустимого рабочего напряжения ОПН \*

В сетях 6-35 кВ, работающих с изолированной нейтралью или с компенсацией емкостного тока замыкания на землю и допускающих неограниченно длительное существование однофазного замыкания на землю (ОЗЗ), наибольшее рабочее длительно допустимое напряже-

ние ограничителя выбирается большим или равным наибольшему рабочему напряжению электрооборудования для данного класса напряжения по ГОСТ 1516.3 или наибольшему рабочему напряжению сети. Их значения приведены в таблице.

$$U_{н.р.} \geq U_{н.р.об}$$

где  $U_{н.р.}$  - наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение ОПН;

$U_{н.р.об}$  - наибольшее рабочее напряжение защищаемого оборудования.

Таблица 6.1. Наибольшее рабочее напряжение сети

Класс напряжения электрооборудования, кВ	6	10	15	20	35	110	220
Наибольшее рабочее напряжение сети, кВ	7,2	12,0	17,5	24	40,5	126	242

Если длительность однофазного замыкания на землю ограничивается, то наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение ОПН должно удовлетворять следующему условию:

$$U_{н.р.} \geq U_{н.р.об} / K_t$$

где  $K_t$  - коэффициент, равный отношению допустимого повышения напряжения в течении времени  $t_k$  наибольшему длительно допустимому рабочему напряжению ограничителя.

Значение  $K_t$  определяют для значения времени однофазного замыкания на землю ( $t_{033}$ ) по зависимости "напряжения - время" для случая с предварительным нагружением нормируемым импульсом энергии.

Время существования однофазного замыкания на землю определяют по данным эксплуатации для места установки ОПН.

Длительность существования ОЗЗ зависит от вида электрических сетей и составляет:

- в контролируемых сетях, питаемых от турбогенераторов, гидрогенераторов и синхронных компенсаторов, а также с присоединенными мощными электродвигателями, с токами однофазного замыкания на землю в генераторной цепи более 5 А - не более 0.5сек. При токе однофазного замыкания на землю ниже 5 А - 2ч и может быть увеличено до 6ч, если однофазное замыкание находится вне обмоток;

- в кабельных сетях 6-35 кВ, не содержащих присоединенных турбогенераторов, гидрогенераторов и синхронных компенсаторов и мощных электродвигателей - 2ч и может быть допущено увеличение до 6ч по согласованию с энергоснабжающей организацией;

\* Основные термины и определения приведены в приложении 1.

- в воздушных сетях, работающих с изолированной нейтралью или компенсацией емкостного тока замыкания на землю и не содержащих электростанций и присоединений с электродвигателями, время отключения однофазного замыкания на землю не нормируется.

Нормированные значения для  $U_{н.р.}$  действительны для температуры окружающей среды до  $45^{\circ}\text{C}$  с учетом дополнительного нагрева от солнечной радиации. Если имеются другие источники повышения температуры окружающей среды, то необходимо увеличить значение  $U_{н.р.}$ . Как правило, это необходимо при использовании ОПН, встроенных в электрооборудование (силовые трансформаторы, ячейки КРУ и

КСО и другие виды оборудования).

Если температура окружающей среды превышает  $45^{\circ}\text{C}$ , то  $U_{н.р.}$  увеличивают на 2% для каждых  $5^{\circ}\text{C}$  повышения температуры окружающей среды. В ряде случаев ОПН устанавливают на шинах подстанции или на шинах во внутренних распределительных устройствах (ячейках КРУ или КСО). В этом случае необходимо учитывать возможный нагрев ОПН от медных или алюминиевых шин. Расчетная температура шин, к которым может быть присоединен ОПН, составляет  $70^{\circ}\text{C}$ . В этом случае наибольшее длительно допустимое напряжение ОПН необходимо увеличить на 10% по сравнению с паспортными условиями эксплуатации.

### 6.5. Выбор номинального разрядного тока ОПН

Выбор ОПН по номинальному разрядному току производится в случае установки его для защиты от грозových перенапряжений.

Во всех случаях, кроме оговоренных ниже, номинальный разрядный ток принимают равным 5кА.

Номинальный разрядный ток принимают равным 10кА в следующих случаях:

- в районах с интенсивной грозовой деятель-

ностью более 50 грозových часов в год;

- в схемах грозозащиты двигателей и генераторов, присоединенных к ВЛ;
- в районах с высокой степенью промышленных загрязнений (IV степень загрязнения атмосферы) или, если ограничитель расположен в 1000 или менее метрах от моря;
- в схемах грозозащиты, к которым предъявляются повышенные требования к надежности.

### 6.6. Определение защитного уровня ограничителя

Определяющим при выборе защитного уровня ОПН является его назначение (для защиты от грозových и коммутационных перенапряжений) и уровень выдерживаемых перенапряжений изоляцией электрооборудования.

#### 6.6.1. Определение защитного уровня ограничителя при грозových перенапряжениях.

Испытательное напряжение электрооборудования 6-35 кВ координируется в настоящее

время с остающимся напряжением вентильного разрядника ( $U_{ост}$ ) при расчетном токе координации (5кА). Поэтому остающееся напряжение ограничителей при грозových перенапряжениях должно быть не выше остающегося напряжения вентильного разрядника группы IV или группы III по ГОСТ 16357 соответственно для ОПН класса 6-10 и 35кВ, т.е. не более значений, приведенных в таблице 6.2.

Таблица 6.2

Максимальные значения остающихся перенапряжений при грозовом импульсе ограничителей (5 кА) для сетей 6-35 кВ

Класс напряжения электрооборудования, кВ	3	6	10	15	20	35
Напряжение при импульсе 8/20 мкс с амплитудой 5000 А, не более, кВ	14	27	45	61	80	130

Ограничитель ( $I_{ном}=5$  кА) должен быть отстроен от работы при перенапряжениях, вызванных ОЗЗ. Это требование выполняется при условии, если значение остающегося напряжения на огра-

нителя при импульсе тока 30/60 мкс с максимальным значением 500 А не ниже значений, приведенных в таблице 6.3 .

Таблица 6.3  
Значения остающегося напряжения  $U_{500}$  для отстройки от перенапряжений, вызванных ОЗЗ

Класс напряжения, кВ	3	6	10	15	20	35
Остающееся напряжение $U_{500}$ при импульсе 30/60 мкс 500 А, не менее	9	18	29	43	59	99

В этом случае пропускная способность ограничителя должна быть не менее 200 А.

При защите электрических машин (генераторов, синхронных компенсаторов и электродвигателей мощностью более 3 МВт), присоединен-

ных к ВЛ, значение  $U_{ост}$  ограничителя на токе 500 А (30/60 мкс), устанавливаемого на выводах электрической машины вместе с емкостью не менее 0,5 мкФ, выбирают ниже или равными значений, приведенных в таблице 6.4.

Таблица 6.4  
Допустимый уровень ограничения перенапряжений электрических машин

Мощность электрической машины, кВт	Номинальное напряжение электрической машины, кВ	Испытательное напряжение, кВ, действующее	Допустимое напряжение, кВ, максимальное
До 1000	3,15	$2U_H+1=7,3$	10,3
	6	$2U_H+1=13$	18,4
	6,3	$2U_H+1=13,6$	19,2
	10	$2U_H+1=21$	29,7
	10,5	$2U_H+1=22$	31
Свыше 1000	3,15	$2,5U_H=7,9$	11,1
	6	$2,5U_H=15$	21,2
	6,3	$2,5U_H=15,75$	22,2
	10	$2U_H+3=23$	32,5
	10,5	$2U_H+3=24$	33,8

### 6.6.2. Места установки ОПН для защиты от грозовых перенапряжений

При защите трансформатора от грозовых перенапряжений ОПН должен устанавливаться на защищаемом трансформаторе до коммутационного аппарата.

В РУ 3-10 кВ при выполнении связи трансформаторов с шинами при помощи кабелей расстояние от ОПН до трансформатора и аппаратов не ограничивается. При применении воз-

душной связи с шинами РУ расстояние от ОПН до трансформатора и аппаратов не должно превышать 60 м при ВЛ на деревянных опорах и 90 м на металлических и железобетонных опорах. В РУ 35- 220 кВ расстояние до ошиновки, включая ответвления от ограничителя до защищаемого объекта, выбирается в соответствии с рекомендациями ПУЭ. Значения этих расстояний при использовании ОПН-35 кВ приведены в приложении 2.

### 6.6.3. Определение защитного уровня ограничителя при коммутационных перенапряжениях

Величина коммутационных перенапряжений определяет значение остающегося напряжения на ограничителе, которое должно быть при расчетном токе коммутационных перенапряжений не более выдерживаемого напряжения изоляцией защищаемого электрооборудования. Значения допустимых уровней перенапряжений приведены в таблицах ПЗ.1, ПЗ.2, ПЗ.3, ПЗ.4 для различных видов защищаемого оборудования.

Расчетный ток коммутационных перенапряжений зависит от вида и величины неограниченных перенапряжений. Значение этого тока и соответствующее ему значение остающегося напряжения на ограничителе определяют либо по программе расчета переходных процессов для рассматриваемой коммутации, либо с некоторым запасом по значению остающегося напряжения конкретного типа ОПН при коммутационном импульсе 30/60 мкс с амплитудой 500 А.

Уровень ограничения коммутационных перенапряжений при дуговых замыканиях с 10% недокомпенсацией емкостного тока может быть определен по кривой (рисунок 6.1) в зависимости от параметра  $f$ .

$$f = (50Z/U_{\phi}) \times (U_{\phi}/A)^{1/a}$$

$$Z = \sqrt{1,5L/2(C_o + C_m)}$$

$$L = U_{\phi}/3,14 I_{кз}$$

$$U_{\phi} = (U_{\text{раб.сети}} \sqrt{2}) \sqrt{3}$$

$a$  - 0,04- степень нелинейности варисторов.

$C_o, C_m$  - емкость фазы на землю и между фазами ОПН

$$C_o = I_c / 0,942 U_{\phi},$$

где  $I_c$  - емкостной ток на землю в сети (А).

$I_{кз}$  - трехфазный ток КЗ в месте установки ОПН

$C_o, C_m$  - емкость фазы на землю и между фазами ОПН

$$C_o = I_c / 0,942 U_{\phi},$$

где  $I_c$  - емкостной ток на землю в сети (А).

$C_m = 0,27 C_o$  - для кабеля;  $C_m = 0,4 C_o$  - для ВЛ

$$A = U_{500}/500a.$$

По полученной величине остающегося напряжения определяют расчетный коммутационный ток как, А:

$$I = (U_{\text{ост}}/A)1/a$$

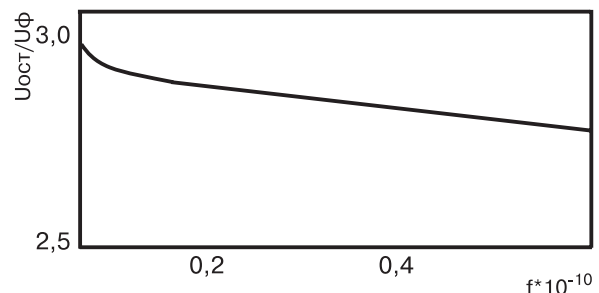


Рисунок 6.1

## 6.7. Выбор энергоемкости ограничителя

Расчет энергоемкости ОПН необходимо проводить в случае установки ОПН в сетях с изолированной или компенсированной нейтралью, в которых возможно возникновение дуговых замыканий на землю. В этом случае наибольшие энергетические воздействия соответствуют работе ограничителя при дуговых перенапряжениях однофазного замыкания на землю.

Токовые и энергетические воздействия на ограничитель и рассеиваемая им энергия в этом режиме определяются расчетом по любой про-

грамме расчета переходных процессов, позволяющей учитывать величину емкостного тока замыкания на землю, степень его компенсации, наличие и величину реактанса токоограничивающих реакторов.

При расчетах принимают 10% недокомпенсацию емкостного тока замыкания на землю, которая моделирует возможный аварийный режим.

Для оценки максимальной суммарной энергии, рассеиваемой ограничителем за одно замыкание, используется следующее выражение:

$$W_{\text{сум}} = 0,5C_{\text{сети}} (U_{\text{пер}}^2 - U_{\text{ост}}^2)n$$

$U_{\text{пер}}$  - уровень перенапряжений при дуговых замыканиях на землю (определяется по рис. 1)

$U_{\text{ост}}$  - уровень ограничений ОПН при дуговых замыканиях (определяется выше);

$C_{\text{сети}}$  - емкость сети (определяется по уровню емкостного тока сети);

$n$  - число повторных зажигания. С учетом длительности режима существования дуговых замыканий (2-3 с) и

возможностью их возникновения в каждый полупериод  $n=100-200$ .

При установке на присоединениях RC-цепочек,  $I_C$  должно быть определено с учетом емкостей этих цепочек.

Суммарная расчетная энергия, рассеиваемая ОПН за время ограничения дуговых замыканий, должна быть не более нормируемой для него энергии:

$$W_{\text{опн}} \geq W_{\text{сум}}$$

### 6.8. Выбор тока срабатывания взрывоподавляющего устройства

Ток срабатывания взрывоподавляющего устройства (для сброса давления) ОПН должен быть не менее, чем на 10% больше значе-

ния двухфазного или трехфазного (большого из них) тока короткого замыкания ( $I_{K3}$ ) в месте установки ограничителя.

### 6.9. Выбор длины пути утечки внешней изоляции ограничителя

Длина пути утечки внешней изоляции ограничителя наружной установки должна выбираться в зависимости от степени загрязнения по ГОСТ

9920-89, но должна быть не менее указанной в таблице длины пути утечки.

Таблица 6.5  
Минимальные длины пути утечки внешней изоляции ограничителя

Класс напряжения электрооборудования, кВ	3	6	10	15	22	35
Длина пути утечки, см, не менее	7,0	13,0	22,0	31,5	43,2	75,0

### 6.10. Выбор типа ограничителя

Выбор типа ограничителя осуществляют в соответствии с определенными выше положениями и значениями параметров ОПН.

Для случая установки ОПН в районах с повышенной гололедно-ветровой нагрузкой, где возможны частые обрывы проводов, необходимо проверить выбранный тип ОПН на устойчивость к воздействию квазиустановившегося перенапряжения, возникшего в результате неполнофазного режима.

Если при обрыве провода длина ВЛ, присоединенная к трансформатору менее величины

$$L_{\text{пр}} = I_{\text{хх}\%} S_{\text{н}} / (188C_1 U_{\text{н}}^2)$$

Где :

$I_{\text{хх}\%}$  - ток холостого хода, в %,

$S_{\text{н}}$ ,  $U_{\text{н}}$  - номинальные мощность [кВА] и напряжение [кВ] трансформатора,

$C_1$  - погонная емкость прямой последовательности [мкФ/км].

то перенапряжения не превышают величины линейного напряжения и не представляют опасности для электрооборудования.

Если  $L > L_{пр}$ , то повышение напряжения определяется по изложенной ниже методике.

На рис. 6.2. приведена обобщенная зависимость фазного напряжения на линии  $U_{фл}$  от тока намагничивания трансформатора  $I_M$  с изолированной нейтралью при обрыве фазы этой линии (от пайки от нее). Параметры зависимости приведены в о.е.: напряжения - по отношению к номинальному напряжению трансформатора и тока - по отношению к номинальному току намагничивания трансформатора (току холостого хода).

По двум точкам строят зависимость напряжения на емкости линии  $U'_{фл}$ , рассчитывая ее значения по формуле:

$$U'_{фл} = -1,5 + I_{мн}^* I_{мн}^* / YLU_{фн}$$

где  $Y$  - удельная проводимость линии по нулевой последовательности, сим;

$L$  - длина линии от места обрыва до трансформатора, км;

$I_{мн}$  - номинальный ток намагничивания трансформаторов, А;

$I_{мн}^*$  - номинальный ток намагничивания, о.е. по отношению к номинальному току трансформатора, о.е.

$U_{фн}$  - номинальное фазное напряжение трансформатора, кВ.

Пересечение построенной прямой  $U'_{фл}$  с обобщенной зависимостью  $U_{фл}$  дает значение установившегося перенапряжения на линии. Эти перенапряжения могут существовать несколько часов.

По зависимости "напряжение - время" ОПН для случая без предварительного нагружения энергией при длительности 11000 сек определяют значение  $k_t$ , рассчитывают  $U^{**}_{нро} = U_y / k_t$ . Полученное значение  $U^{**}_{нро}$  сравнивают с ранее выбранным значением наибольшего длительно допустимого рабочего напряжения ОПН

Если  $U_{н.д} > U^{**}_{нро}$ , то выбранный тип ОПН удовлетворяет всем условиям.

Если  $U_{н.д} < U^{**}_{нро}$ , то выбирают ОПН с новым  $U_{н.д}$ , удовлетворяющим условию:

$$U_{н.д} < U^{**}_{нро}$$

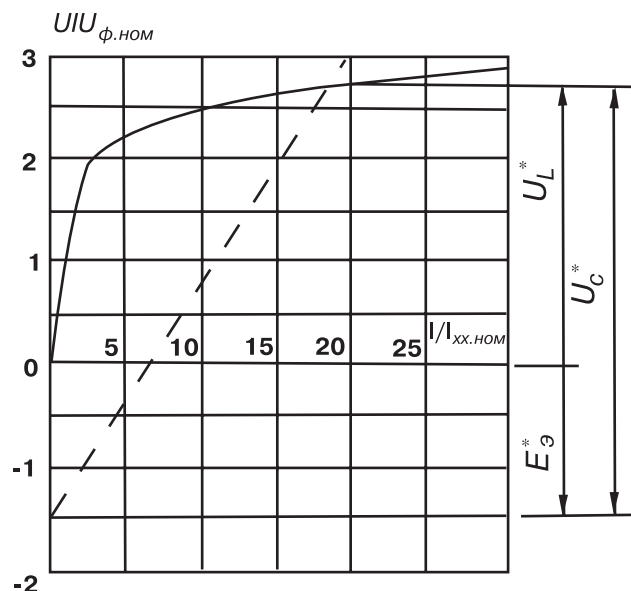


Рисунок 6.2

### 6.11. Особенности выбора ОПН для защиты от коммутационных перенапряжений

#### 6.11.1. Выбор параметров ограничителей для защиты сети СН электростанций от перенапряжений при дуговых замыканиях на землю

В сетях СН электростанций ОПН устанавливают для защиты сети и электродвигателей от коммутационных перенапряжений, возникающих при дуговых замыканиях на землю. Т. к. наименьший выдерживаемый уровень изоляции имеет электродвигатель, то ограничитель выбирают в первую очередь из условия ограничения перенапряжений до величины, допустимой для электродвигателя.

Сеть СН электростанции может работать с изолированной нейтралью, либо с нейтралью, заземленной через дугогасительный реактор (ДГР), либо с нейтралью, заземленной через резистор.

#### 6.11.2. Выбор параметров ОПН для защиты сети СН, работающей с изолированной нейтралью или нейтралью, заземленной через ДГР

Наибольшее длительно допустимое напряжение ограничителя для защиты сети СН от дуговых перенапряжений выбирается, исходя из следующих положений:

- наибольшее рабочее напряжение сети не должно превышать 1.1 номинального напряжения электродвигателя, т.е. 6.6 кВ;
- длительность однофазного замыкания на землю не должна превышать 2 часов.

Учет этих условий определяет наибольшее допустимое напряжение ОПН.

Требуемый уровень ограничения коммутационных перенапряжений определяют по требованию ограничения перенапряжений при дуговых замыканиях на землю до допустимого уровня. Он обеспечивается при расчетном токе коммутационного импульса через ОПН, равном 100 А.

Амплитуда импульса тока пропускной способности ограничителя на прямоугольной волне длительностью 2000 мкс зависит от величины емкостного тока замыкания на землю сети СН и определяется необходимой энергоемкостью ОПН при дуговых замыканиях.

При расчетах ориентируются на то, что:

- при емкостном токе замыкания на землю не более 10 А и работе сети с изолированной нейтралью ( схема питания сети СН от трансформатора) или при емкостном токе до 100 А и работе сети со 100% компенсацией емкостного тока замыкания на землю амплитуда импульса тока пропускной способности должна быть не ниже 500 А.
- ограничитель устанавливается на шинах каждой секции СН в свободной ячейке или ячейке трансформатора напряжения (ТН) до предохранителя. Возможна установка ОПН в ячейке с секционным выключателем.
- для защиты СН с большими значениями токов замыкания на землю используются 2-3 комплекта ОПН на каждой секции шин. Важно, чтобы ОПН были одного типа и с одинаковыми значениями наибольшего длительно допустимого рабочего напряжения.

### **6.11.3. Выбор параметров ОПН для защиты сети СН, работающей с нейтралью, заземленной через резистор**

В сетях 6 кВ СН электростанций значение сопротивления резистора, включаемого в нейтраль заземляющего трансформатора, выбирают таким образом, чтобы ток через резистор при однофазном замыкании на землю был не менее емкостного тока замыкания на землю (обычно сопротивление резистора равно 100 Ом). В этом случае перенапряжения при дуговых замыканиях на землю ограничены до уровня 2.2-2.4 $U_{\phi}$ , а релейная защита надежно отключает поврежденное присоединение.

Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение ограничителя выбирается, исходя из того что:

- наибольшее рабочее напряжение сети не должно превышать 1.1 номинального напряжения электродвигателя, т.е. 6.6 кВ;
- длительность однофазного замыкания на землю определяется временем действия релейной защиты, отключающей замыкание. Это время не превышает обычно 5 с.

С учетом снижения перенапряжений с помощью резистора в нейтрали до уровня 2.3-2.4 $U_{\phi}$  и отключения однофазного замыкания на землю за время не более 1 с пропускная способность ограничителя может быть принята не менее 250 А.

Ограничитель включается в цепь заземляющего трансформатора до выключателя.

В качестве резервного аппарата на шинах СН устанавливается дополнительный ОПН, поскольку, при отказе в действии релейной защиты и неотключении поврежденного присоединения, отключается присоединение с заземляющим трансформатором, и сеть переходит в режим работы с изолированной нейтралью.

## 6.12. Выбор ограничителя для защиты ГРУ от дуговых перенапряжений

Защита ГРУ от дуговых перенапряжений может потребоваться, если имеются случаи отказа электрооборудования при однофазных дуговых замыканиях на землю или кабельная сеть, подключенная к ГРУ, имеет достаточно высокую повреждаемость и если потребителями ГРУ являются источники повышенных перенапряжений, например, плавильные печи.

Поскольку к шинам ГРУ подключены генераторы, то наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение ограничителя выбирается, исходя из следующих положений:

- наибольшее рабочее напряжение сети не должно превышать 1.15 номинального напряжения генератора, т.е. 6.9 и 11.5 кВ соответственно для ГРУ 6 и 10 кВ;
- длительность однофазного замыкания на землю не должна превышать 2 часов .

При выполнении указанных требований Ун.р.

должно быть не ниже 6.9 кВ и 11.5 кВ для сетей 6 и 10 кВ соответственно.

Требуемый уровень ограничения перенапряжений определяется величиной испытательного напряжения генератора (стр. 17). Такой уровень ограничения перенапряжений обеспечивается при расчетном токе коммутационного импульса через ОПН, равном 100 А. При определении пропускной способности ограничителя необходимо учитывать, что ГРУ имеет, как правило, секционные и линейные токоограничивающие реакторы, что увеличивает токовые и энергетические воздействия на ОПН.

Ограничитель следует устанавливать на каждой секции ГРУ в свободной ячейке или в ячейке ТН. При возможности параллельной работы секций ГРУ устанавливаемые на секциях ограничители должны быть специально подобраны по своим характеристикам.

## 6.13 . Выбор параметров ОПН для защиты от перенапряжений, инициируемых вакуумными выключателями

Установка ОПН на присоединениях с вакуумными выключателями ограничивает перенапряжения, связанные с обрывом тока и эскалацией напряжений, сокращает число повторных зажигания, а, следовательно, число опасных перенапряжений и полностью исключает перенапряжения при виртуальном срезе тока.

Защита от перенапряжений требуется при коммутациях вакуумными выключателями присоединений с электродвигателями и трансформаторами.

Не требуется защита от перенапряжений, инициируемых вакуумными выключателями:

- трансформаторов, защищенных по условию грозозащиты вентильными разрядниками или ОПН;
- трансформаторов СН в кабельных сетях, длина подключаемых кабелей которых больше или равна приведенным в таблице значениям.

Для защиты электродвигателя от перенапряжений, инициируемых вакуумным выключате-

лем, ограничитель устанавливается в сети 6 кВ. При установке ограничителей в нескольких ячейках характеристики ограничителей должны быть специально подобраны для их параллельной работы. В этом случае ограничители будут подвержены меньшим токовым и энергетическим воздействиям при однофазных дуговых замыканиях на землю, что повысит надежность работы сети и ОПН.

Наибольшая эффективность ограничения перенапряжений, инициируемых вакуумными выключателями, достигается при установке ОПН параллельно выключателю или непосредственно у защищаемого объекта.

Возможна установка ограничителя в ячейке выключателя в начале кабеля. В этом случае необходима проверка уровня перенапряжений на двигателе, которые не должны превышать выдерживаемый изоляцией двигателя уровень испытательных напряжений



Таблица 6.6

Класс напряжения, кВ	Длина кабеля, м, при мощности трансформатора, кВт				
	250	630	1000	1600	2500
6	50	120	150	200	240
10	30	90	115	150	180

### Место установки рекомендации по применению ОПН

Рекомендации по применению ОПН 6-10 кВ в кабельных промышленных сетях с двигательной и трансформаторной нагрузкой (Табл.6.7)

Таблица 6.7  
Защита двигателей и трансформаторов

Вид нагрузки	Двигатель			Трансформатор	
	До 50 м	Свыше 50 м		До 300 м	Свыше 300 м
Способ установки	Фаза-земля	Параллельно контактам выключателя	Фаза-земля	Фаза-земля	Не требуется
Тип ОПН	ОПН-РТ/TEL6/6.9 или 10/11.5*	ОПН-КР/TEL6/6.0 или 10/10.5	ОПН-РТ/TEL6/6.9 или 10/11.5*	ОПН-РТ/TEL6/6.9 или 10/11.5*	Не требуется
Место установки	Линейный отсек КРУ за трансформатором тока	В ячейке**	Рядом с двигателем по схеме «Фаза-земля»	Линейный отсек КРУ за трансформатором тока	Не требуется

\* - если емкостной ток сети, в которой применяется ячейка меньше 1 А, то допустимо использование ОПН-КР вместо ОПН-РТ с теми же параметрами.

\*\* - если данный способ установки ОПН не возможен, допустима установка ОПН в линейном отсеке КРУ за трансформаторами тока. Схема "фаза-земля" ОПН-РТ 6/6.9 или 10/11.5.

Защита кабельных сетей от дуговых перенапряжений (Табл.6.8)

Таблица 6.8  
Рекомендации по защите кабельных сетей от дуговых перенапряжений

Значение емкостного тока сети, А	<1	1-10	10-100	>100
Тип ОПН	ОПН-КР/TEL 6/6.9 или 10/11.5	ОПН-РТ/TEL 6/6.9 или 10/11.5	ОПН-РТ/TEL 6/6.9 или 10/11.5	ОПН-РТ/TEL 6/6.9 или 10/11.5
Количество ОПН	1 комплект на каждой секции шин	1 комплект на каждой секции шин	2 комплекта на каждой секции шин	3 комплекта на каждой секции шин
Место присоединения	На сборных шинах	На сборных шинах	На сборных шинах	На сборных шинах
	(Например, в шкафу ТН)	(Например, в шкафу ТН)	(Например, в шкафу ТН)**	(Например, в шкафу ТН)**

\*\* - в случае невозможности размещения нескольких комплектов в одном шкафу допустима их установка в разных шкафах одной секции за исключением вводных шкафов.

Таблица 6.9  
Рекомендации по выбору и применению ОПН 6-10 кВ (воздушные сети)

Способ установки	Наружная установка (УХЛ1)	Внутренняя установка (УХЛ2)
Тип установки	Фаза-земля	Фаза-земля
Тип ОПН	ОПН/TEL 6/7.6 или 10/12.6	ОПН-КР/TEL 6/6.9 или 10/12.0*
Место установки	Вне шкафа	Линейный отсек КРУ за трансформатором тока

\* - если емкостной ток сети превышает 1 А, рекомендуется использовать ОПН-РТ/TEL- 7.2 или 10/11.5

Данные рекомендации соответствуют нормативным документам РАО "ЕЭС России":

- РАО "ЕЭС России", Методические указания по применению ограничителей перенапряжений в электрических сетях 6-35 кВ. Изд-во НТК "Электропроект", 2001.

- РАО "ЕЭС России", Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений (РД 153-34-35. 125-99). Изд-во ПЭИПК, 1999.

- Циркуляр Ц-5-98 от 30 октября, 1998 г.

### 6.15. Установка и монтаж ОПН-КР, ОПН-РТ и ОПН/TEL-6, 10

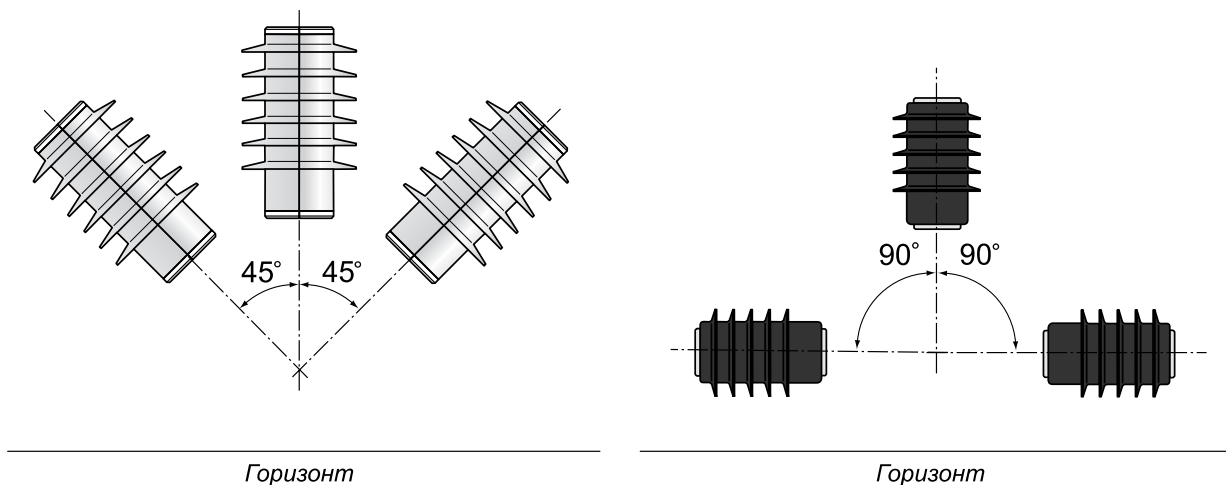


Рисунок 6.3

Монтаж ограничителей типа ОПН-КР, ОПН-РТ и ОПН/TEL-6, 10 должен проводиться в соответствии с требованиями и рекомендациями настоящего Руководства.

Ограничители не требуют применения специальных крепежных устройств и могут устанавливаться с помощью болтов (шпилек) М10. Допускается устанавливать ограничитель и ОПН/TEL-6, 10 под углом к вертикальной оси не более 45°, ОПН-КР и ОПН-РТ – в любом положении в пространстве.

При выборе места расположения ОПН следует учитывать наличие элементов электроустановки или аппаратов, которые в рабочих условиях выделяют тепло и температура вблизи которых может отличаться от температуры окружающего воздуха.

Болты (шпильки) для присоединения ограничителя к электрической цепи должны быть выполнены из металла, стойкого к коррозии, или покрыты металлом, предохраняющим их от коррозии, и не должны иметь поверхностной краски.

Вокруг болта (шпильки) должна быть контактная площадка для присоединения проводника (шины). Площадка должна быть защищена от коррозии и не иметь поверхностной краски. Допускается обеспечивать необходимую поверхность сопри-

косновения в соединении при помощи шайб.

Необходимо принять меры против возможного ослабления контактов между проводником (шиной) и болтом (шпилькой), используя контротяжки или пружинные шайбы.

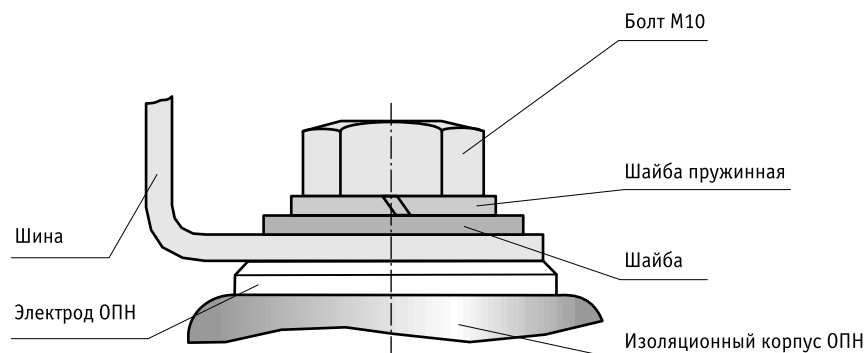


Рисунок 6.4

Момент затяжки болтов при подсоединении фазного и заземляющего проводников ОПН должен составлять  $25 \pm 5$  Нм.

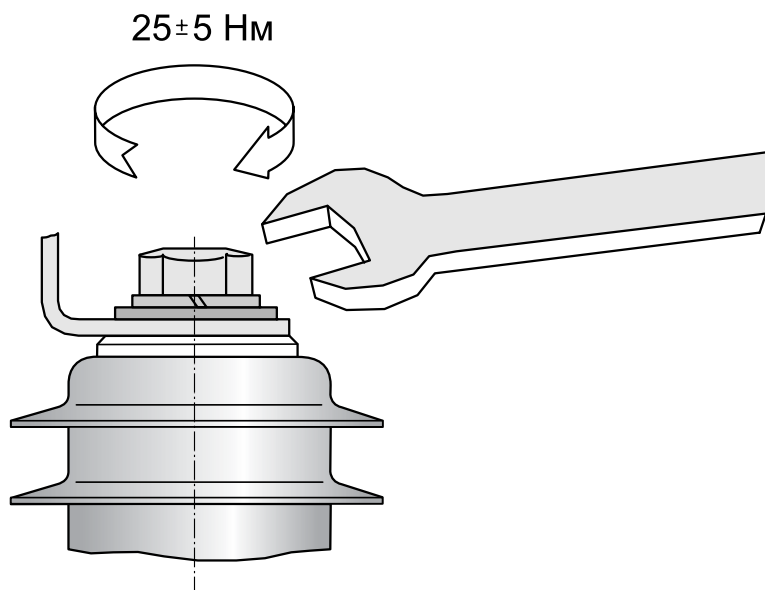


Рисунок 6.5

При внутренней установке ОПН с целью исключения неучтенных механических усилий при монтаже и эксплуатации рекомендуется использование нежесткого присоединения фазного вывода ограничителя к электрической цепи распределительного устройства, например, с помощью стальной шины 20 x 1 мм.

При наружной установке ОПН рекомендуется подключать к сети гибким неизолированным проводом сечением 5–6 мм<sup>2</sup>.

Изгибающее усилие, усилие на сжатие и растяжение при ошиновке ОПН не должны превышать 300 Н. Правильный монтаж должен исключить все

статические нагрузки на ОПН. Ограничители наружной установки допускают кратковременные нагрузки от тяжения провода до 335 Н при ветре 40 м/с.

При внутренних установках длина соединительных шин ОПН должна быть выбрана так, чтобы исключить внешний подогрев ОПН со стороны токоведущих шин выше 55°С. Рекомендуется применение стальной шины 20 x 1 мм, обеспечивающей градиент снижения температуры порядка 70°С на 50 мм длины шины. Также следует избегать использования фазных проводников длиной более 400 мм.

Допускается кратковременная работа ОПН (до 8 часов) при температуре окружающего воздуха 80° С. Рекомендуется выбирать расстояния от ребер внешней изоляции ограничителей до заземленных конструкций и до изоляции ограничителей других фаз не менее указанных в ПУЭ для токоведущих частей.

Заземляющая шина выбирается по критерию механической прочности соединения и в соответствии с рекомендациями ПУЭ. Шина заземления ОПН подсоединяется кратчайшим путем к общему контуру заземления в соответствии с рекомендациями ПУЭ. В процессе монтажа ОПН/TEL–6,10 следует избегать внешних воздействий на изоляционную поверхность ограничителя. Например, не допускается располагать ОПН/TEL–6,10 горизонтально на поверхность с упором на изоляционные ребра.

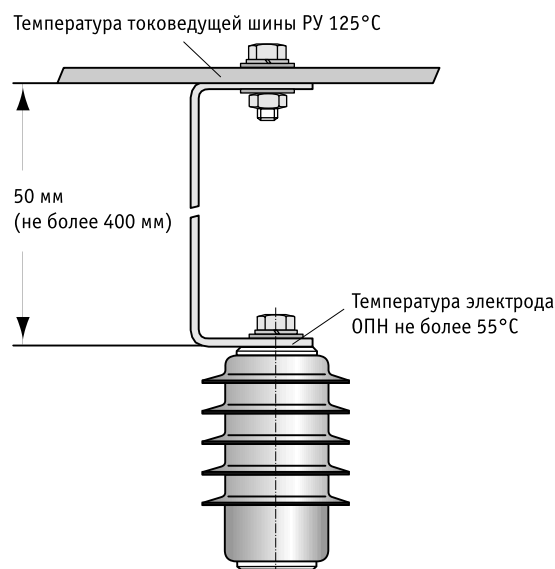


Рисунок 6.6

### 6.16. Установка и монтаж ОПН/TEL–35,110,220

Монтаж ограничителей типа ОПН/TEL–35,110,220 должен проводиться в соответствии с требованиями и рекомендациями настоящего Руководства.

Ограничители типа ОПН/TEL–35,110,220 не требуют специальной подготовки к эксплуатации, кроме внешнего осмотра, подтверждающего отсутствие видимых повреждений корпуса, загрязнения его поверхности и коррозии электродов. Пригодность ОПН/TEL–35,110,220 к эксплуатации в данной сети должна быть установлена посредством сравнения маркировки аппарата с его параметрами, приведенными в Свидетельстве о приемке.

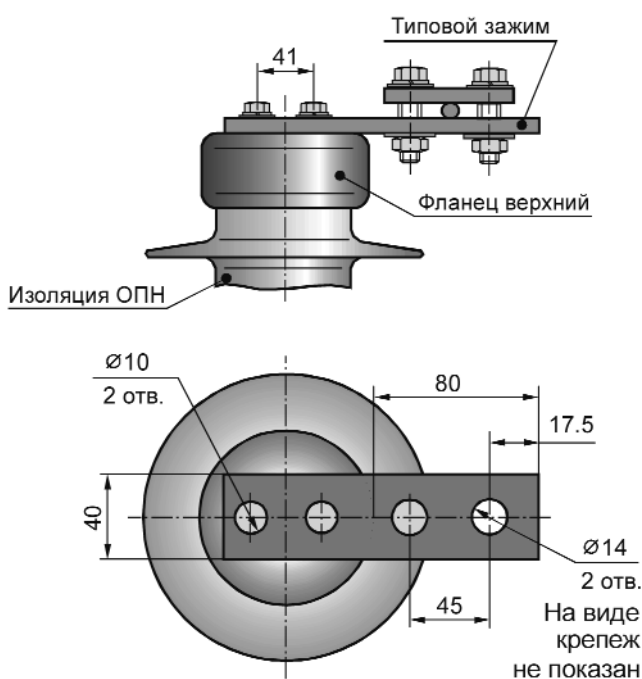
Ограничители типа ОПН/TEL–110, 220 устанавливаются на специальном фундаменте с помощью шести болтов М10 (М8 для ОПН/TEL–35). Рабочее положение в пространстве ОПН/TEL–35,110,220 – вертикальное. Фазный вывод ОПН/TEL–35,110,220 допускает подключение типового аппаратного зажима, имеющего для присоединения к ОПН два отверстия диаметром

10 мм с расстоянием между ними в осях 41 мм.

Для обеспечения надежной защиты электрооборудования подстанций от перенапряжений места установки ОПН/TEL–35,110,220 следует выбирать в соответствии с требованиями ПУЭ.

Ограничители должны быть установлены без коммутационных аппаратов в цепи присоединения к линии, шинам распределительного устройства или ошиновке трансформаторов или шунтирующих реакторов. Ограничители подключаются к электрической сети с помощью шин или оголенного провода сечением 16–70 мм<sup>2</sup>.

Заземляющие проводники ОПН и трансформаторов рекомендуется присоединять к заземляющему устройству подстанции поблизости один от другого или так, чтобы место присоединения ограничителя к заземляющему устройству находилось между точками присоединения заземляющих проводников портала с молниеотводом и трансформатора и было максимально удалено от точек заземления измерительных трансформаторов.



Подключение стандартного зажима

Рисунок 6.7



Подключение провода

Рисунок 6.8

При монтаже ОПН/TEL–35,110,220 необходимо учитывать направление выхлопа предохранительного устройства, указанного на нижнем фланце ограничителя маркером, чтобы выхлоп и последующее перекрытие не перешли на другие элементы электроустановки. Для этого расстояние до заземленных металлических конструкций или других элементов электроустановок должно превышать высоту ОПН в 1.6 раза, но не менее 0.9 м.

Рекомендуется выбирать расстояния от ребер внешней изоляции ограничителей до заземленных конструкций и до изоляции ограничителей других фаз не менее указанных в ПУЭ для токоведущих частей.

При установке ограничителей не требуется подключение прибора, регистрирующего число срабатываний, так как коммутационный ресурс

ОПН/TEL изготовителем не ограничивается.

Изгибающее усилие, усилие на сжатие и растяжение при ошиновке ОПН не должны превышать 510 Н. Правильный монтаж должен исключить существенные статические нагрузки на ОПН. Ограничители допускают кратковременные нагрузки от тяжения провода до 640 Н при ветре 40 м/с.

В процессе монтажа ОПН/TEL–35,110,220 следует избегать внешних воздействий на изоляционную поверхность ограничителя. Например, не допускается располагать ОПН/TEL–35,110,220 горизонтально на поверхность с упором на изоляционные ребра. Для подключения ОПН/TEL–35,110,220 к сети допускается использовать только алюминиевый проводник с целью исключения электрокоррозии.

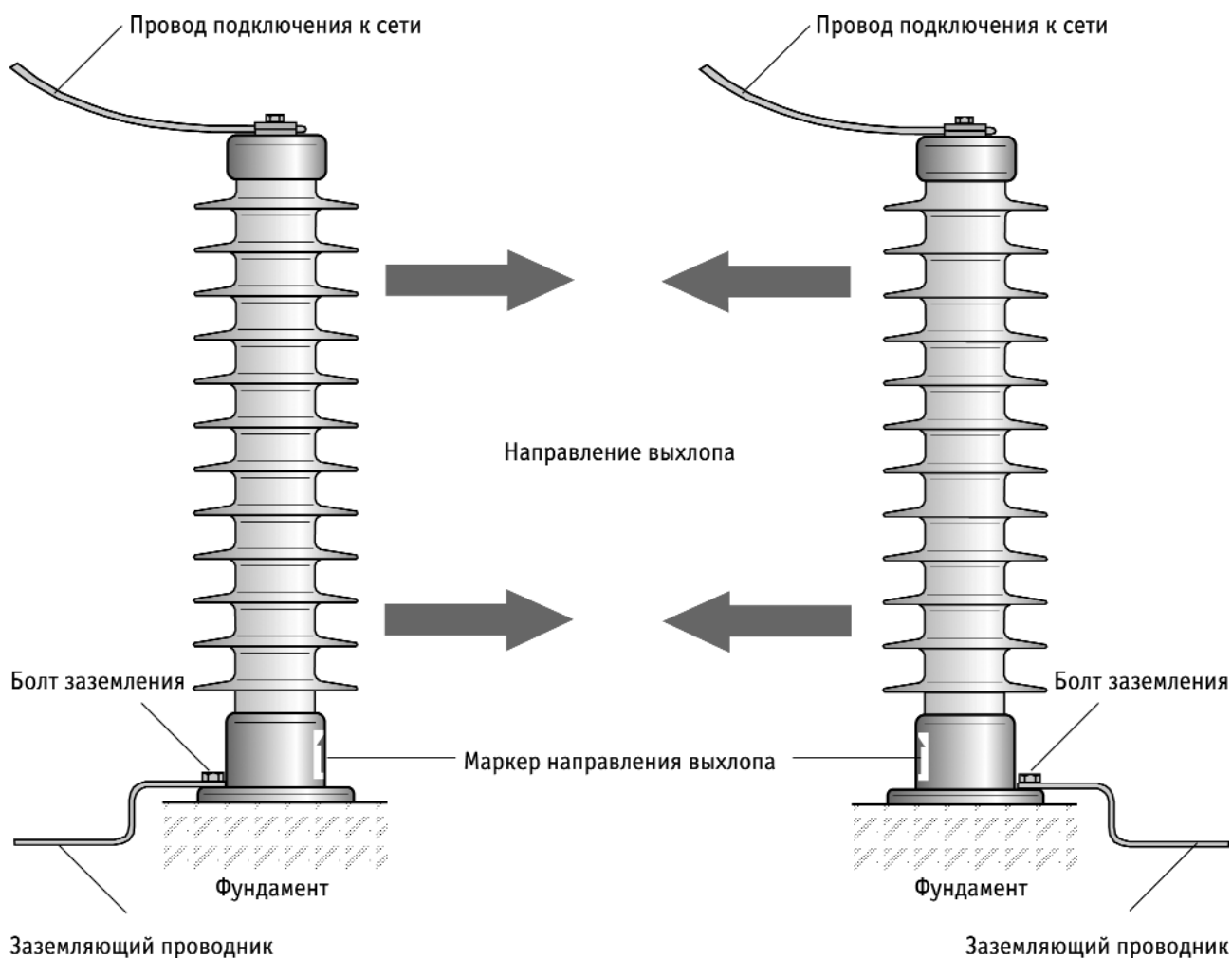


Рисунок 6.9

### 6.17. Испытания перед вводом в эксплуатацию

Ограничители серии ОПН/TEL не требуют специальной подготовки перед установкой в эксплуатацию, кроме внешнего осмотра, подтверждающего отсутствие видимых повреждений корпуса. Перед установкой, при необходимости, следует

удалить загрязнения на его поверхности и следы коррозии электродов (фланцев). Пригодность ограничителя к эксплуатации в данной сети должна быть установлена посредством сравнения его параметров с параметрами сети потребителя.

### 6.18. Обслуживание в процессе эксплуатации

Ограничители ОПН/TEL не подлежат ремонту эксплуатирующими организациями и не требуют профилактических испытаний в процессе эксплуатации.

При монтаже и эксплуатации ОПН персонал должен соблюдать требования «Правил технической эксплуатации электроустановок потре-

бителей» и «Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей».

При периодических испытаниях изоляции электрооборудования распределительных устройств повышенным напряжением ограничители должны отключаться с принятием мер, исключающих их пробой.

При эксплуатации ограничителей в районах с повышенным уровнем загрязненности атмосферы рекомендуется проводить периодическую очистку их внешней поверхности, если это предусматривается для изоляции других аппаратов, установленных поблизости. Очистку следует про-

изводить сухой ветошью, не оставляющей волокон, или промывать мыльным раствором. Места сильного загрязнения очищать тампоном, смоченным спиртом. Применение масел, бензина, бензола, ацетона и металлических щеток не допускается.

## 6.19. Типовые отказы и их устранение

Вероятные отказы ОПН–КР, ОПН–РТ и ОПН/ТЕЛ–6, 10, причины их возникновения и способы устранения приведены в таблице.

Таблица 6.10

№	Признак неисправности	Вероятная причина	Метод диагностики	Способ устранения
1	Не закручивается болт М10 в электрод ОПН	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Инеродное тело в витках резьбы</li> <li>• Болт с нестандартной резьбой</li> <li>• Болт длиной больше 10 мм</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Калибр М10</li> <li>• Калибр М10</li> <li>• Штангенциркуль</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Удалить инородное тело</li> <li>• Замена болта</li> <li>• Замена болта</li> </ul>
2	Загрязнение поверхности изоляции и коррозия электродов. Корпус ОПН не поврежден	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ненормированные условия эксплуатации или хранения</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Визуальный осмотр</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Очистить ОПН от загрязнения и коррозии</li> </ul>
3	Оплавление электродов и/или корпуса ОПН или обугливание корпуса ОПН. Резисторы не повреждены	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ненормированное внешнее тепловое воздействие</li> <li>• Воздействие электрической дуги</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Визуальный осмотр. Разборка ОПН и проверка нормируемых электрических параметров резисторов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Заменить ОПН. Проверить правильность монтажа. Проверить расстояния до заземленных конструкций и ОПН других фаз</li> </ul>
4	Полное расплавление или обугливание корпуса ОПН. Резисторы не повреждены	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ненормированное внешнее тепловое воздействие</li> <li>• Длительное существование в сети дугового замыкания на «землю»</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Визуальный осмотр. Разборка ОПН и проверка нормируемых электрических параметров резисторов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Заменить ОПН. Проверить правильность монтажа и отсутствие посторонних источников тепла</li> </ul>
5	Деформация корпуса на изгиб или растяжение	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Наличие остаточных механических нагрузок на ОПН вследствие неправильного монтажа</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Визуальный осмотр</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Заменить ОПН. Исключить остаточные механические нагрузки на ОПН</li> </ul>
6	Полное расплавление или обугливание корпуса ОПН. Резисторы повреждены	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Длительное существование в сети дугового замыкания на «землю»</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Визуальный осмотр</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Заменить ОПН</li> </ul>
7	Взрывное разрушение корпуса ОПН. Резисторы повреждены	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ненормированное энергетическое воздействие. Феррорезонанс</li> <li>• Неправильный выбор типа ОПН или Унд</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Визуальный осмотр</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Заменить ОПН. Проверить правильность выбора ОПН</li> </ul>
8	Наличие эрозионных треков или кратеров на поверхности изоляционного корпуса, локальные оплавления или обугливания	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Проводящие включения в материале корпуса (заводской дефект)</li> <li>• Эксплуатация в районах с ненормированным загрязнением атмосферы (присутствие проводящей пыли)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Визуальный осмотр</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Заменить ОПН</li> <li>• Заменить ОПН на соответствующий условиям эксплуатации</li> </ul>

## 6.20. Утилизация

Ограничители перенапряжений серии ОПН/TEL не содержат компонентов, вредных или опасных для здоровья человека и окружающей среды.

Нарушение целостности внешней изоляции

корпуса ограничителя, которое может иметь место при эксплуатации или утилизации ОПН, не опасно и не требует проведения специальных мероприятий. Никаких особых мер по утилизации ОПН не требуется.

## 7. Гарантии производителя

Предприятие–изготовитель гарантирует соответствие качества ограничителей серии ОПН/TEL требованиям настоящего Руководства. Срок службы ОПН/TEL – 25 лет. Гарантийный срок службы ОПН/TEL – 10 лет с момента поставки ОПН заказчику.

В случае отказа изделия вследствие заводс-

кого дефекта предприятие–изготовитель производит замену ОПН, при условии, что не были нарушены правила выбора и условия эксплуатации ОПН, изложенные в данном Руководстве.

Предприятие–изготовитель не несет ответственности за косвенный ущерб, связанный с отказом его изделия.

## 8. Комплектность поставки

Комплектность поставки каждого типа ОПН/TEL приведена в таблице 8.1.

Таблица 8.1

Тип ОПН	Количество ОПН в упаковке	Свидетельство о приемке
ОПН–КР/TEL–X/X УХЛ2	3	1
ОПН–РТ/TEL–X/X УХЛ2	3	1
ОПН/TEL–X/X–550 УХЛ1	1	1
ОПН/TEL–X/X–250 УХЛ1	1	1

## 10. Формулирование заказа

При заказе необходимо указать полное обозначение ОПН и необходимое количество.

Пример записи при заказе обозначения ОПН–РТ для сети класса напряжения 10 кВ с наибольшим длительно допустимым напряжением

11.5 кВ, климатического исполнения УХЛ, категории размещения 2:

Ограничитель перенапряжений типа ОПН–РТ/TEL–10/11.5 УХЛ2 – 300 шт.



## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

## Термины и определения

- **ограничитель перенапряжений нелинейный (ОПН)** - аппарат, предназначенный для защиты изоляции электрооборудования от грозовых и коммутационных перенапряжений. Представляет собой последовательно соединенные металлооксидные резисторы без каких-либо искровых промежутков, заключенные в изоляционный корпус.
- **металлооксидный резистор** - единичный комплектующий элемент ОПН, имеющий нелинейную вольтамперную характеристику
- **экранное кольцо (ОПН)** - элемент конструкции, предназначенный для выравнивания распределения напряжения вдоль ОПН.
- **противовзрывное устройство (устройство для сброса давления)** - устройство, обеспечивающее снижение внутреннего давления в ограничителе при прохождении через него токов короткого замыкания и предотвращающее тем самым взрывное разрушение корпуса ОПН или его разрушение с разлетом осколков за нормируемую зону.
- **наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение ОПН** - наибольшее действующее значение напряжения промышленной частоты, которое может быть приложено непрерывно к ОПН и не приводит к повреждению или термической неустойчивости ОПН при нормированных воздействиях.
- **импульс тока большой длительности (прямоугольный импульс)** - прямоугольный импульс, который быстро возрастает до максимального значения, остается практически постоянным в течение нормированного периода времени, а затем быстро падает до нуля. Нормированная длительность импульса – 2000 мкс.
- **номинальный разрядный ток ОПН** - максимальное значение грозового импульса тока 8/20 мкс, используемое для классификации ОПН.
- **импульс большого тока ОПН** - импульс разрядного тока, имеющего форму волны 4/10 мкс, который используется для испытания устойчивости ОПН при прямых ударах молнии. Нормированная амплитуда импульса большого тока – 65 кА или 100 кА.
- **остающееся напряжение ОПН** - наибольшее значение напряжения на ограничителе при протекании через него импульсного тока с данной амплитудой и длительностью фронта.
- **характеристика “напряжение - время”** - выдерживаемое напряжение промышленной частоты в зависимости от времени его приложения к ОПН. Показывает максимальный промежуток времени, в течение которого к ОПН может быть приложено напряжение промышленной частоты, превышающее  $U_{нд}$ , не вызывая повреждения или термической неустойчивости.
- **пропускная способность ОПН** - это способность ОПН выдерживать без потери рабочих качеств воздействие 18 нормированных по максимальному значению прямоугольных импульсов тока с условной длительностью амплитуды не менее 2000 мкс и принятой последовательностью их приложения.
- **удельная энергия** - рассеиваемая ограничителем электрическая энергия в долях наибольшего длительно допустимого рабочего напряжения, которую может рассеять ОПН без паузы для охлаждения и без потери термической стабильности во время рабочих испытаний в результате приложения нормированных импульсов в соответствии с требованиями МЭК 60099-4.
- **взрывобезопасность** - отсутствие взрывного разрушения или разрушение ОПН с разлетом осколков в нормируемой зоне при его внутреннем повреждении.
- **уровень остающегося напряжения при коммутационном импульсе - ( $U_{30/60}$ )** - максимальное значение напряжения на ограничителе при протекании через него импульсного тока с длительностью фронта импульса 30 мкс и временем полуспада импульса 60 мкс;
- **уровень остающегося напряжения при грозовом импульсе - ( $U_{8/20}$ )** - максимальное значение напряжения на ограничителе при протекании через него импульсного тока с длительностью фронта импульса 8 мкс и временем полу- спада импульса 20 мкс;

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

## Наибольшие допустимые расстояния от ОПН/ТЕЛ-35/40.5 до силовых трансформаторов 35 кВ

Таблица П 2.1

Число ВЛ, постоянно подключенных к шинам ПС	Защищенный подход на ВЛ		Расстояние от ОПН до оборудования, м	
	Тип опоры	Длина защищенного подхода, км	Количество комплектов ОПН/ТЕЛ- 35/40.5	
			1	2
1 (тупиковая ПС)	Горизонтальное расположение проводов	0,5	23	35
		1,0	46	69
		1,5	69	104
		2,0	87	116
	Негоризонтальное расположение проводов	1,0	23	35
		1,5	35	58
2,0		52	81	
2	Горизонтальное расположение проводов	0,5	35	46
		1,0	58	116
		1,5	93	139
		2,0	116	174
	Горизонтальное расположение проводов	1,0	35	46
		1,5	58	69
2,0		81	104	
3 и более	Горизонтальное расположение проводов	0,5	41	52
		1,0	104	139
		1,5	139	174
		2,0	174	208
	Горизонтальное расположение проводов	1,0	46	58
		1,5	69	81
2,0		104	116	

### Наибольшие допустимые расстояния от ОПН/TEL-35/40.5 до оборудования 35 кВ

Таблица П 2.2

Число ВЛ, постоянно подключенных к шинам ПС	Защищенный подход на ВЛ		Расстояние от ОПН до оборудования, м	
	Тип опоры	Длина защищенного подхода, км	Количество комплектов ОПН - ОПН/TEL-35/40.5	
			1	2
1 (тупиковая ПС)	Горизонтальное расположение проводов	0,5	30	48
		1,0	90	120
		1,5	120	156
		2,0	150	180
	Негоризонталь- ное расположение проводов	1,0	48	48
		1,5	72	72
2	Горизонтальное расположение проводов	0,5	36	60
		1,0	120	180
		1,5	150	240
		2,0	180	240
	Горизонтальное расположение проводов	1,0	60	120
		1,5	96	144
3 и более	Горизонтальное расположение проводов	0,5	36	60
		1,0	120	180
		1,5	150	240
		2,0	180	240
	Горизонтальное расположение проводов	1,0	60	120
		1,5	96	144
		2,0	108	180

Таблица П2.3

Тип РУ кол-во ВЛ	Кол-во комплектов ограничителей перенапряжений, место установки	Длина защищенного подхода с повышенным защитным уровнем, км	Расстояние, м	
			До силовых трансформаторов (автотрансформаторов)	До остального электрооборудования
РУ по схеме "блок линия -трансформатор"	Один комплект ОПН у силового трансформатора	1,0	60	60
		1,5	100	90
		2,0	140	120
		2,5	170	140
		3,0	220	160
РУ по схеме . "блок линия -2 трансформатора"	Два комплекта ОПН у силовых трансформаторов.	1,0	100	110
		1,5	160	160
		2,0	220	180
		2,5	300	230
		3,0	360	250
РУ с двумя ВЛ и двумя трансформаторами	Два комплекта ОПН у силовых трансформаторов.	1,0	110	80
		1,5	170	160
		2	250	270
		2,5	330	310
		3	420	380
РУ с тремя и более ВЛ и двумя трансформаторами	Два комплекта ОПН у силовых трансформаторов.	1,0	110	100
		1,5	180	200
		2	260	300
		2,5	350	400
		3	440	600

Таблица П2.4

ТИП РУ, кол-во ВЛ	Кол-во комплектов ограничителей перенапряжений, место установки	Длина защищенного подхода с повышенным защитным уровнем, км	Расстояние, м	
			До силовых трансформаторов (автотрансформаторов)	До остального электрооборудования
РУ по схеме «блок линия -трансформатор"	Один комплект разрядников у силового трансформатора	1,0	10	20
		1,5	30	60
		2,0	50	90
		2,5	75	120
		3,0	95	165
РУ по схеме «блок линия – 2 трансформатора»	Два комплекта разрядников у силовых трансформаторов.	1,0	30	85
		1,5	55	145
		2,0	90	220
		2,5	135	300
		3,0	180	380
РУ с двумя ВЛ и двумя трансформаторами	Два комплекта разрядников у силовых трансформаторов.	1,0	30	90
		1,5	55	190
		2,0	95	340
		2,5	140	600
		3,0	190	1000
РУ с тремя и более ВЛ и двумя трансформаторами	Два комплекта разрядников у силовых трансформаторов.	1,0	30	130
		1,5	70	260
		2,0	120	500
		2,5	185	800
		3,0	230	1000

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3

### Характеристика уровней изоляции сетей 6-35 кВ

В соответствии с условиями эксплуатации изоляция конструкций подразделяется на внешнюю и внутреннюю. Внешней изоляцией называется внешняя часть изоляционной конструкции, где изолирующей средой является атмосферный воздух или сочетание поверхности диэлектрика с атмосферным воздухом.

Внутренней изоляцией называется внутренняя часть изоляционной конструкции, где изолирующей средой является жидкий, твердый или газообразный диэлектрик или их комбинация, не подвергающаяся непосредственному воздействию внешних условий.

Отличительной особенностью внешней изоляции является ее свойство восстанавливать свои параметры после разряда или пробоя, что дает возможность достаточно достоверно определить ее электрическую прочность.

Достоверных сведений о характеристиках электрической прочности внутренней изоляции получить невозможно. Поэтому они косвенно характеризуются нормированными (ГОСТ 1516.3) испытательными напряжениями грозовых импульсов и нормированным испытательным напряжением промышленной частоты. Для электрооборудования 6-35 кВ допустимая кратность (выдерживаемый уровень) коммутационных перенапряжений  $K_{\text{доп.вн.}}$  по отношению к фазному значению наибольшего рабочего напряжения определяется по выражению:

$$K_{\text{доп.вн.}} = K_{\text{и}} K_{\text{к}} U_{\text{исп.вн.}} \sqrt{3} / U_{\text{н.р.}}$$

$U_{\text{исп.вн.}}$  - нормированное одноминутное испытательное напряжение промышленной частоты главной изоляции электрооборудования, кВ, (действующее значение);

$U_{\text{н.р.}}$  - наибольшее рабочее напряжение сети, кВ (действующее значение).

$K_{\text{и}}$  - коэффициент импульса, учитывающий повышение разрядного напряжения изоляции при более коротком коммутационном импульсе по сравнению с испытательным напряжением.  $K_{\text{и}}=1.3$  для главной изоляции трансформаторов.  $K_{\text{и}}=1.1$  для аппаратов;

$K_{\text{к}}$  - коэффициент кумулятивности, учитывающий снижение электрической прочности в условиях эксплуатации при многократных воздействиях перенапряжений и возможность старения изоляции.  $K_{\text{к}}=0.9$  для главной изоляции трансформаторов,  $K_{\text{к}}=1.0$  - для аппаратов;

Допустимая кратность грозовых перенапряжений оценивается по формуле:

$$K_{\text{доп.гр.}} = 1.1 (U_{\text{исп.гр.}} - U_{\text{ном}}) \sqrt{3} / (\sqrt{2} U_{\text{н.р.}})$$

$U_{\text{исп.гр.}}$  - испытательное напряжение грозовым импульсом по ГОСТ 1516.1.

Статорные обмотки электрических машин имеют меньший уровень изоляции. Особенностью статорной изоляции является то, что ее коэффициент импульса примерно равен единице. Если в сетях установлены высоковольтные электрические машины в виде синхронных компенсаторов, генераторов и электродвигателей, то  $K_{\text{доп.эл.маш}}$  определяется как:

$$K_{\text{доп.эл.маш}} = U_{\text{исп.дв}} \sqrt{3} / U_{\text{н.р.дв}}$$

где  $U_{\text{исп.дв}}=2U_{\text{ном}}+1$  - испытательное напряжение электрических двигателей.

Результаты расчетов допустимых кратностей перенапряжений для сетей 6-35 кВ представлены в таблицах П 3.1, П 3.2, П 3.3, П 3.4.

Таблица П 3.1  
Допустимые кратности внутренних перенапряжений для внутренней изоляции трансформаторов 6-35 кВ с нормальной изоляцией

U <sub>ном</sub> , кВ	6	10	15	20	35
U <sub>н.раб</sub> , кВ	6.9	11.5	17.5	23	40.5
U <sub>исп</sub> , кВ	25	35	45	55	85
U <sub>доп</sub> , кВ	41.5	57.9	74.5	91	140.6
K <sub>доп</sub>	7.0	5.9	5.2	4.6	4.3

Таблица П 3.2  
Допустимые кратности внутренних перенапряжений для электрооборудования 6-35 кВ с облегченной изоляцией

U <sub>ном</sub> , кВ	6	10	15	20
U <sub>н.раб</sub> , кВ	6.9	11.5	17.5	23
U <sub>исп</sub> , кВ	16	24	37	50
U <sub>доп</sub> , кВ	26.5	39.7	61.2	82.7
K <sub>доп</sub>	4.5	4.1	4.3	4.2

Таблица П 3.3  
Допустимые кратности внутренних перенапряжений для электродвигателей 6-10 кВ

U <sub>ном</sub> , кВ	6	10
U <sub>н.раб</sub> , кВ	6.6	11
U <sub>исп</sub> , кВ	13	21
K <sub>доп.эл.маш.</sub>	3.4	3.3

Таблица П 3.4  
Допустимые кратности грозовых перенапряжений для внутренней изоляции трансформаторов 6-35 кВ с нормальной изоляцией

U <sub>ном</sub> , кВ	6	10	15	20	35
U <sub>н.раб</sub> , кВ	6.9	11.5	17.5	23	40.5
U <sub>исп</sub> , максимальное значение, кВ	60	80	108	130	200
U <sub>доп</sub> , максимальное значение, кВ	62.5	82	110	131	200
K <sub>доп</sub>	11	8.8	7.6	6.9	5.9

В заключение по допустимому уровню электрической прочности изоляции электрооборудования можно сделать следующие выводы:

- Среди всех видов электрооборудования наименьший уровень изоляции имеют электрические машины.
- Кратность допустимых уровней перенапряжений находится в пределах 4.0-7.0.
- Кратность допустимых грозовых перенапряжений при прочих равных условиях приблизительно на 45% больше, чем при внутренних перенапряжениях.
- Электрооборудование с облегченной изоляцией, применяемое в сетях 6-10 кВ, имеет кратность допустимых перенапряжений на 30% ниже, чем для электрооборудования с нормальной изоляцией.
- В составе электрооборудования сетей 6-35 кВ применяются трансформаторы тока, напряже-

ния, выключатели, силовые трансформаторы, электродвигатели, синхронные компенсаторы и другое оборудование, поэтому в большинстве случаев уровень изоляции линий электропередачи определяется изоляцией перечисленных видов оборудования.

Приведенные данные показывают, что в сетях 6-35 кВ с изолированной или резонансно заземленной нейтралью внутренние перенапряжения обычно не опасны для изоляции электрооборудования с нормальной изоляцией. Вместе с тем нельзя исключить ухудшение (например, старение) изоляции в периоды между эксплуатационными профилактическими испытаниями, поэтому для повышения надежности работы изоляции сетей, прежде всего, состаренной в процессе многолетней эксплуатации, необходимо предусматривать дополнительные мероприятия по ограничению внутренних перенапряжений.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 4

### Классификация и характеристика внутренних перенапряжений сетей 6-35 кВ

Основной особенностью сетей 6-35 кВ является изолированный или резонансно заземленный режим работы нейтрали. Именно это обстоятельство вызывает появление значительных уровней перенапряжений в данных сетях. В большинстве случаев сети работают с изолированной нейтралью. Если величина емкостного тока сети превышает нормированные значения: 30 А для сетей 6 кВ, 20 А для сетей 10 кВ и 10 А сетей 35 кВ, нейтраль электрической сети заземляется через дугогасящий реактор. Сети с изолированной и резонансно заземленной нейтралью могут длительно работать с однофазным замыканием на землю (ОЗЗ). При ОЗЗ линейные напряжения в сети не искажаются, что позволяет не отключать поврежденный участок сети и тем самым не отключать потребителей электрической энергии. В месте замыкания горит дуга. В большинстве случаев она носит неустойчивый характер, что приводит к возникновению коммутационных перенапряжений.

В последнее время все большее распространение получает заземление нейтрали через резистор. Величина резистора подбирается таким образом, чтобы величина активного тока замыкания на землю была соизмерима с емкостной со-

ставляющей, обусловленной емкостью сети. Для сетей с небольшими емкостными токами величина резистора, как правило, более 100 Ом. Это заземление носит название высокоомного резистивного заземления. Наличие активного сопротивления в нейтрали сети приводит к стеканию избыточного заряда, накапливаемого на фазных емкостях сети в результате неустойчивого горения дуги. Смещение нейтрали сети в этом случае значительно меньше, а значит меньше и перенапряжения при ОЗЗ.

Внутренние перенапряжения сетей 6-35 кВ подразделяются на два вида:

- квазистационарные перенапряжения, которые возникают при неблагоприятных сочетаниях реактивных элементов сети и ЭДС источников питания. Эти перенапряжения имеют длительный характер и существуют до тех пор, пока не исчезнет причина их возникновения;
- коммутационные перенапряжения, которые возникают при различных коммутациях электрической цепи. В реальных условиях под ними понимают все плановые и аварийные коммутации.

#### П 4.1. Квазистационарные перенапряжения

##### П 4.1.1. Резонансное смещение нейтрали в сети с дугогасящим реактором

Нормальная работа сети с изолированной нейтралью характеризуется наличием на нейтрали некоторого напряжения, называемого напряжением несимметрии. Это напряжение возникает при наличии несимметрии в емкостях отдельных фаз сети или при различной величине проводимостей фаз, обусловленных, например, неодинаковой степенью загрязнения.

Например, в сети с изолированной нейтралью у нетранспонированной ВЛ 35 кВ на П-образных

деревянных опорах с горизонтальным расположением проводов при междуфазном расстоянии 3 метра, емкости крайних фаз относительно земли на 10% больше емкости среднего провода. В этом случае может произойти смещение нейтрали примерно на 0.7 кВ.

Для сетей, заземленных через дугогасящую катушку, емкостной ток несимметрии протекает через индуктивность катушки. В этом случае может происходить резонансное смещение нейтрали, значительно превышающее обычное смещение.

#### **П 4.1.2. Повышения напряжения в сетях 6-35 кВ при неполнофазных режимах работы сети**

Резонансные повышения напряжения могут возникать не только при естественной несимметрии емкостей фаз, но и при значительной несимметрии емкостей, вызванной обрывом проводов и неполнофазными включениями линий. Предел повышения напряжения определяется насыщением магнитопровода дугогасящего реактора.

В сети без дугогасящего реактора нарушение симметрии сети, вызываемое обрывом проводов с заземлением и без заземления, одновременным включением и отключением фаз возможны перенапряжения, обусловленные так называемым "опрокидыванием" фазы трансформатора. Перенапряжения на емкости линии при этом явлении могут достигать  $4U_{\phi}$ . Явление опрокидывания возникает лишь на линиях определенной длины и слабо загруженных трансформаторах.

### **П 4.2. Коммутационные перенапряжения.**

#### **П 4.2.1. Перенапряжения при дуговых замыканиях на землю**

Дуговые замыкания на землю являются самым распространенным видом повреждения в сетях 6-35 кВ. Нарушение изоляции в любой точке сети вызывает замыкание на землю. Характер замыкания может быть различен и зависит от условий в месте замыкания, величины емкостного тока и параметров сети. На практике замыкания делят на три вида: металлическое замыкание, через устойчивую дугу, через перемежающуюся дугу. В случае устойчивого горения дуги в месте замыкания, как и в случае металлического замыкания, кратность перенапряжений невелика ( $2.4U_{\phi}$ ). Она обусловлена переходным процессом в момент замыкания.

Перемежающаяся дуга является своего рода коммутатором, замыкания и размыкания которого приводят к перенапряжениям. Сущность образования перенапряжений в сети с изолированной нейтралью заключается в том, что после погасания дуги на неповрежденных фазах остаются заряды, которые, распределяясь по всей сети, поднимают ее потенциал относительно земли. На этот повышенный потенциал накладывается рабочее напряжение. В результате на поврежденной фазе получается повышение напряжения, которое вызывает повторное зажигание дуги.

Максимальная величина перенапряжений может достигать до  $3.2U_{\phi}$ , однако это возникает редко, поскольку требует совпадения ряда условий (открытая дуга при сильном ветре, дуга в масле, дуга в узкой щели). Длительность предельных перенапряжений (как правило, не более

2-3 с) также ограничена, потому что после серии последовательных зажиганий дуга или окончательно обрывается, либо, прожигая изоляцию, переходит в устойчивую.

Максимальные кратности перенапряжений практически не зависят от номинального напряжения сети и величины емкостного тока. Вероятность появления заданной величины кратности перенапряжений представлена на рис. 1.

Характерными особенностями перенапряжений при перемежающейся дуге являются их значительная длительность по сравнению с другими видами коммутационных перенапряжений, а также то, что они охватывают всю сеть данного напряжения.

В сетях с изолированной нейтралью данный вид перенапряжений не представляет опасности для оборудования с нормальной изоляцией. Для вращающихся машин уровень дуговых перенапряжений лежит выше профилактических эксплуатационных, но ниже заводских испытательных. Поэтому возможны повреждения машин при дуговых замыканиях.

Косинусные конденсаторы, соединенные, как правило, в треугольник или звезду с изолированной нейтральной точкой, увеличивают междуфазную емкость и тем самым снижают уровень перенапряжений.

Наличие в сети токоограничивающих реакторов (особенно сдвоенных) вызывает увеличение значений перенапряжений при дуговых замыканиях. Это обусловлено протеканием емкостных токов сети к месту замыкания через индуктивность реактора. Увеличение значений перена-



пряжений зависит от емкости сети и мощности токоограничивающих реакторов и в среднем на 20-30% больше, чем без реакторов.

#### П 4.2.2. Дуговые перенапряжения в сети с компенсацией токов замыкания на землю

Для снижения вероятности возникновения короткого замыкания в месте однофазного повреждения рекомендуется ограничивать уровень емкостных токов замыкания на землю путем уста-

новки в нейтрали трансформаторов специально настроенных индуктивностей (ДГР). Последние позволяют одновременно снизить уровень дуговых перенапряжений. Полная компенсация емкостных токов снижает уровень перенапряжений до значения  $2.6 U_{\phi}$ . В случае расстройки ДГР уровень перенапряжений повышается. Зависимость кратности перенапряжений для сетей 6-35 кВ от степени расстройки реакторов показана на рис.2.

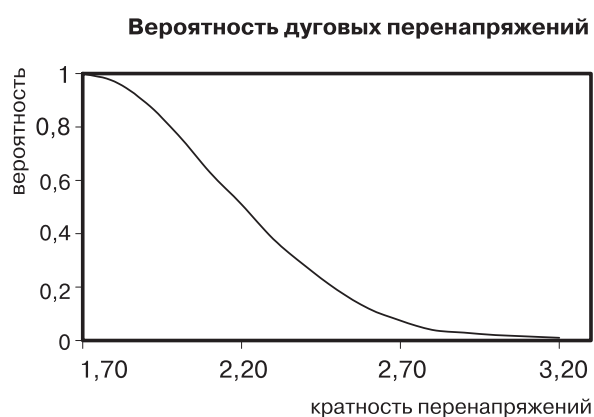


Рисунок П 4.1

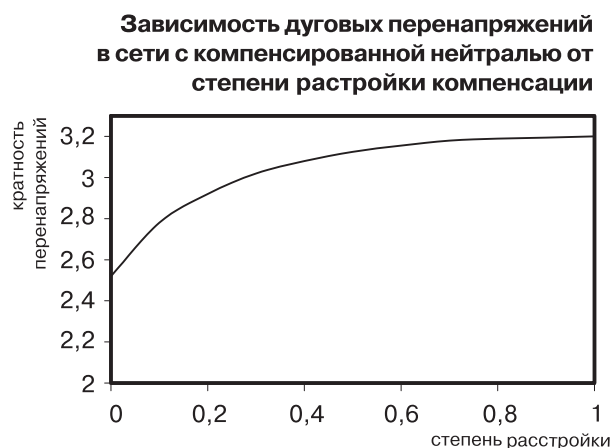


Рисунок П 4.2

#### П 4.2.3. Дуговые перенапряжения в сети с резистивным заземлением нейтрали

Заземление нейтрали через активное сопротивление разряжает емкость сети в промежутке между гашениями и зажиганиями перемежающейся дуги, способствует снижению величины дуговых перенапряжений. Предельное снижение перенапряжений практически наступает при равенстве активной и емкостной составляющей тока в месте замыкания. Правильный выбор высокоомного заземления нейтрали снижает перенапряжения до величины  $2.4-2.6U_{\phi}$ . Зависимость дуговых перенапряжений от величины активного тока сети представлена на рис 3.

#### П 4.2.4. Перенапряжения при включении воздушных (ВЛ) и кабельных (КЛ) линий

При включении ВЛ и КЛ в нормальном симметричном режиме перенапряжения не превышают  $2U_{\phi}$ . При наличии в сети ОЗЗ в процессе поиска "земли" перенапряжения увеличиваются и могут достигать  $(5-6)U_{\phi}$ , поскольку переходной процесс при включении накладывается на

повышенный потенциал сети, обусловленный ОЗЗ. Процесс включения ВЛ или КЛ при ОЗЗ часто является причиной двойных замыканий на землю.

#### П 4.2.5. Отключение ненагруженных линий

В сетях с изолированной нейтралью при отключении ненагруженных линий вследствие того, что потенциал нейтрали не фиксирован, возрастает влияние одной фазы на другие и возникают большие перенапряжения. Это способствует более высокому значению восстанавливающегося напряжения в межконтактном промежутке коммутационного аппарата. В результате могут создаться условия для повторных пробоев промежутка (характерно для аппаратов с низкой скоростью движения контактов), что в свою очередь увеличивает перенапряжения.

Экспериментальные данные показывают, что при отключении ненагруженных линий масляными выключателями перенапряжения в 2% случаев достигают  $4.5U_{\phi}$ . Перенапряжения, превышающие  $3U_{\phi}$ , составляют примерно 7%.

#### П4.2.6. Отключение ненагруженных трансформаторов

При отключении ненагруженных трансформаторов с изолированной нейтралью возможность появления напряжения смещения нейтрали приводит к возрастанию перенапряжений. Были замерены перенапряжения до  $5U_{\phi}$ . В 2% случаев перенапряжения превышают  $5U_{\phi}$ . Перенапряжения могут быть оценены по кривой рис. 4, которая получена при отключении ненагруженных трансформаторов 6-110 кВ с изолированной нейтралью масляными и воздушными выключателями. Кратность перенапряжений на вторичной стороне отключаемого трансформатора имеет примерно ту же величину, что и на первичной.

Наибольшие перенапряжения возникают при отключении ненагруженного трансформатора сразу после его включения, когда ток намагничивания не достиг установившегося значения.

В некоторых случаях могут быть опасны перенапряжения, связанные с перегоранием токограничивающих плавких вставок, если конструкция вставки недостаточно ограничивает перенапряжения.

Всплески перенапряжений при отключении малых индуктивных токов имеют длительность порядка сотен микросекунд и по своему характеру близки к грозовым и без труда снижаются ограничителями перенапряжений. На амплитуду перенапряжений оказывает влияние мощность отключаемого трансформатора и емкость эле-

ментов сети подключенных к зажимам трансформатора, (первая увеличивает перенапряжения, вторая снижает). Электрофизические свойства коммутационного аппарата практически не влияют на величину перенапряжений.

#### П 4.2.7. Отключение двойного замыкания на землю

При отключении короткого замыкания на землю в двух разных точках сети вследствие разновременной работы выключателей могут возникнуть перенапряжения. Они образуются на первой отключившейся фазе, когда в переходном процессе напряжение меняется от нуля (фаза заземлена) до мгновенного значения линейного напряжения. Максимальные перенапряжения составляют примерно  $3.3U_{\phi}$ .

#### П 4.2.8. Отключение двухфазных коротких замыканий

В целом ряде схем 6-35 кВ с изолированной или компенсированной нейтралью при отключении двухфазных коротких замыканий возникают перенапряжения, связанные с тем, что в момент обрыва выключателем тока КЗ при его нулевом значении одновременно обрывается вблизи своего максимума ток намагничивания трансформатора либо ток дугогасящего реактора. Высвобождающаяся магнитная энергия заряжает емкости сети и вызывает перенапряжения.

Для создания перенапряжения необходимо, чтобы трансформатор был ненагруженным. Перенапряжения тем больше, чем меньше емкость, оставшаяся у трансформатора.

Зависимость дуговых перенапряжений от отношения активной составляющей тока замыкания к емкостной

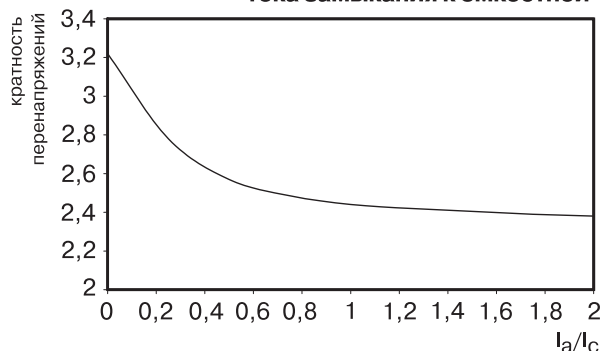


Рисунок П 4. 3

Кривая вероятностей перенапряжений при отключении ненагруженных трансформаторов с изолированной нейтралью

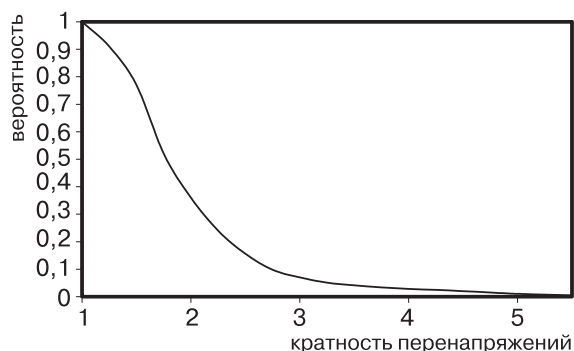


Рисунок П 4. 4

#### **П 4.2.9. Включение электродвигателей через питающий кабель**

При включении первой фазы двигателя напряжение на емкостях не включившихся фаз двигателя устанавливается через индуктивность двигателя в процессе свободных колебаний системы "кабель-двигатель", частота которых обычно находится в диапазоне 50-300 кГц, а амплитуда  $1.8-2.0U_{\phi}$ . Включение второй и третьей фазы отличается от включения первой наличием начального потенциала на емкостях включаемых фаз. Включение второй фазы с запаздыванием на полпериода собственной частоты колебаний приводит к появлению перенапряжений на уровне  $3.3U_{\phi}$ .

Если коммутации второй и третьей фаз выключателя происходят после затухания свободных колебаний системы "кабель-двигатель", то перенапряжения составляют  $2.6-2.7 U_{\phi}$ .

При включении очень мощных двигателей 1000 кВА и более кратности перенапряжений снижаются.

Существенное влияние на величину перенапряжений оказывают длина кабеля и емкость фазы двигателя. С ростом длины кабеля возрастает активное сопротивление и, как следствие, увеличивается демпфирование свободной составляющей переходного процесса. Это в свою очередь приводит к снижению перенапряжений. Максимальные перенапряжения имеют малую вероятность, поскольку требуют совпадения большого числа факторов. Реальный разброс во времени включения фаз приводит к малой вероятности максимальных перенапряжений. Следует отметить, что чем больше временной разброс во включении фаз, тем больше вероятность возникновения максимальных перенапряжений.

В процессе поиска "земли" в сети возможны частые включения и отключения электродвигателей в сеть с заземленной фазой. Если первой к двигателю через кабель подключается неповрежденная фаза сети, то максимальные перенапряжения на этой фазе могут достигать  $3.4U_{\phi}$ . Если в сети существовала перемежающаяся дуга, перенапряжения могут составить  $(5-6)U_{\phi}$ . Включение второй фазы вызывает меньшие перенапряжения - до  $2.7U_{\phi}$ .

Включение двигателя в процессе АВР или АПВ при несинхронном остаточном напряжении двигателя повышает возможные перенапряжения по сравнению с обычным включением до уровня  $4.0-4.5U_{\phi}$ . Образование перенапряжений аналогично описанным выше. Разница заключается в начальных условиях. Величина перенапряжений существенно зависит от остаточного напряжения двигателя в момент коммутации. После отключения двигателя от сети напряжение на нем уменьшается постепенно, поскольку магнитный поток двигателя поддерживается за счет токов, индуцируемых в контурах ротора в момент включения. Поскольку двигатель продолжает вращаться за счет запасенной механической энергии, в его обмотках генерируется напряжение. Это напряжение уменьшается вследствие затухания индуцируемых токов и снижения скорости вращения электродвигателя. Процесс снижения напряжения зависит от параметров электродвигателей. Время, за которое напряжение снижается до  $0.4$  начального значения, колеблется от  $0.5$  до  $2$  с.

Величина паузы АПВ определяется свойствами коммутационного аппарата и устройствами релейной защиты. Для сетей 6-10 кВ это время не менее  $0.5$  с. Поэтому через  $0.5$  с на двигателе остается напряжение  $0.4-0.7$  начального значения и максимальное значение перенапряжений при АПВ не превосходит  $4U_{\phi}$ .

#### **П 4.2.10. Отключение двигателей**

Перенапряжения при отключении высоковольтных асинхронных электродвигателей связаны с особенностями работы дугогасящих камер (срез тока и повторные пробои в межконтактном промежутке).

При отключении вращающегося двигателя после отделения его от сети главный магнитный поток, связывающий обмотки статора и ротора, в первый момент остается неизменным, так как поддерживается током в роторе. Этот ток затухает достаточно медленно. Поэтому некоторое время после отключения на зажимах двигателя поддерживается нормальное синусоидальное напряжение.

Время поддержания этого процесса зависит от момента инерции ротора. Энергия, запасенная в полях рассеивания статора, колебательным образом переходит в емкость фаз двигателя и присоединенного кабеля. Наложение этих двух процессов дает результирующее напряжение на зажимах двигателя.

Отключение вращающегося короткозамкнутого двигателя (холостого или с номинальной нагрузкой) дает обычно умеренные перенапряжения, так как магнитная энергия главного поля исчезает не сразу, а постепенно расходуясь на нагрев обмотки ротора. Перенапряжения возникают за счет относительно небольшой энергии полей рассеивания статора.

Отключение вращающегося двигателя с замкнутой накоротко цепью ротора соответствует обычному отключению двигателя с фазным ротором при нормальном режиме работы.

Если двигатель, имеющий фазный ротор, отключается из вращающегося состояния при введенном пусковом сопротивлении, то главный магнитный поток спадает быстро и индуцирует в статоре напряжение выше нормального. Величина напряжения может значительно превосходить  $U_{\phi}$ , по опытным данным 4-5 $U_{\phi}$ . Асинхронный двигатель с разомкнутой обмоткой опасно отключать выключателем любого типа.

Отключение вращающегося двигателя не дает перенапряжений выше двойного линейного. При нагруженном двигателе перенапряжения немного большие, чем при холостом ходе.

Наиболее опасно отключение неподвижного двигателя. В особо неблагоприятных условиях были отмечены перенапряжения до 6 $U_{\phi}$  и более

#### **П 4.2.11. Перенапряжения при отключении двигателей вакуумными выключателями**

Источником опасных воздействий, сопровождающих процесс отключения, является срез тока в вакуумной камере до его естественного перехода через нулевое значение. При этом магнитная энергия, запасенная в индуктивности нагрузки, колебательным образом переходит в собственную емкость нагрузки и кабеля присоединения. Кратность возникающих перенапряжений зависит от соотношения индуктивности и емкости отключаемого присоединения. У двига-

телей 6-10 кВ индуктивность имеет относительно небольшое значение (менее 100 мГн), запасенная в ней энергия в момент среза тока невелика и выделение ее в емкость присоединения не приводит к опасным перенапряжениям. Амплитуда переходной составляющей напряжения определяется в основном разностью между напряжением на двигателе до отключения и величиной смещения нейтрали, вызванного отключением, и практически не зависит от тока среза.

После среза тока промышленной частоты напряжение в отключаемой фазе на стороне секции шин остается практически неизменным за счет большого числа присоединений и примерно равным амплитудному значению фазного рабочего напряжения. Напряжение на полюсе отключаемой фазы выключателя со стороны присоединения изменяется в соответствии с переходным процессом, вызванным перезарядом емкости присоединения и рассеиванием индуктивной энергии двигателя. Разность потенциалов на контактах выключателя носит название переходного восстанавливающегося напряжения (ПВН). Если ПВН в некоторый момент времени превышает значение электрической прочности промежутка между расходящимися контактами выключателя, то происходит повторное зажигание (ПЗ) дуги. При этом в кабеле отключаемого присоединения возбуждается волна напряжения, перезаряжающая его до потенциала, под которым находится секция шин. Амплитуда этой волны определяется разностью между напряжением сети и напряжением на двигателе до ПЗ. Приходя на двигатель, эта волна испытывает отражение, близкое по характеру к отражению от холостого конца кабеля, что приводит к удвоению амплитуды волны на зажимах двигателя. Это объясняется тем, что постоянная времени контура "волновое сопротивление кабеля - индуктивность двигателя" составляет доли секунды и индуктивность практически не участвует в волновом процессе.

Наличие собственной емкости двигателя приводит к затягиванию фронта набегающей волны за счет перезарядки емкости через волновое сопротивление кабеля. Постоянная времени перезарядки для кабелей и двигателей не превышает 1 мкс.

Перепад напряжения на двигателе за столь короткое время, равный удвоенному значению волны напряжения, представляет опасность для продольной (межвитковой) изоляции двигателя и требует рассмотрения при выборе защитных устройств.

Частота высокочастотных колебаний, вызванных пробегами волн в кабеле после ПЗ, определяется длиной кабеля и при длинах, меньших 1 км, превышает 50 кГц. Отличительной особенностью вакуумного выключателя является его способность к отключению высокочастотного тока этих колебаний при переходе его через нулевое значение. После такого отключения возобновляется процесс восстановления напряжения на контактах выключателя, однако уже при иных начальных условиях. Напряжение на емкости двигателя и ток в его индуктивности в момент отключения больше, чем при первом отключении. Это приводит к тому, что максимум в кривой ПВН становится больше; возможно новое зажигание дуги. Возрастание максимума кривой ПВН объясняет тот факт, что уровень перенапряжений при ПЗ на присоединениях с двигательной нагрузкой значительно выше, чем при одиночном срезе тока промышленной частоты, и тем больше, чем больше число ПЗ. Так, например, для двигателя мощ-

ностью 630 кВт, при длине кабеля 80 м, кратность перенапряжений при одиночном срезе тока 5 А по расчетам составляет 1.77, а при возникновении повторных зажиганий достигает 6-и кратной величины.

Для сравнения уровней внутренних перенапряжений с уровнем изоляции электрооборудования все виды перенапряжений сведены в таблицу П 4.1.

Сравнение допустимых уровней изоляции оборудования и кратностей внутренних перенапряжений показывает, что большинство перенапряжений не опасно для оборудования с нормальной изоляцией. В связи с этим оборудование требует защиты только от грозовых перенапряжений. При этом важно, чтобы квазистационарные перенапряжения, имеющие длительный характер, не приводили к выходу из строя ограничителей перенапряжений. Для оборудования с облегченной изоляцией, вращающихся машин и состарившейся изоляцией в процессе эксплуатации представленные выше уровни перенапряжений превышают допустимый уровень воздействий. Следовательно, для повышения надежности эксплуатации данного вида оборудования в электрических сетях необходима установка защитных средств (ОПН).

Таблица П 4.1  
Характеристика внутренних перенапряжений(сети с изолированной и резонансно заземленной нейтралью)

№	Вид перенапряжений	Кратность перенапряжений*
1	Дуговые замыкания на землю(изолированная нейтраль)	3.0-3.5
2	Дуговые замыкания на землю (резонансно заземленная нейтраль)	2.6
3	Дуговые замыкания на землю (резистивно заземленная нейтраль)	2.4-2.6
4	Поиск «земли» при ОЗЗ	4.0-6.0
5	Резонансные перенапряжения	до 4.0
6	Включение электродвигателей	2.6-3.3
7	Включение электродвигателей при наличии в сети ОЗЗ	3.4
8	АПВ и АВР электродвигателей	4.0-4.5
9	Включение ВЛ и КЛ при наличии в сети ОЗЗ	3.0-3.5
10	Отключение ненагруженных ВЛ и КЛ	3.0-4.5
11	Отключение ненагруженных трансформаторов	5.0-6.0
12	Отключение двойного замыкания на землю	3.3
13	Отключение вращающихся электродвигателей	4.0-5.0
14	Отключение заторможенных электродвигателей	5.0-6.0

\* - Кратность перенапряжений определяется по отношению к амплитуде фазного напряжения сети.

**ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ**

## Лист регистрации изменений

Изм.	Номера листов(страниц)				Всего листов (страниц) в документе	№ документа	Входящий № сопроводительного документа	Подп.	Дата
	Изменен- ных	Заменен- ных	новых	аннулиро- ванных					
					48				









**РК ТАВРИДА ЭЛЕКТРИК**
**Центральный офис**

123 298, МОСКВА, а/я 15.

Тел.: (495) 787 25 25.

Факс: (495) 943 12 95.

 E-mail: [rosim@tavrida.ru](mailto:rosim@tavrida.ru).

**Региональные представительства**
**РОССИЯ**

ВОЛГОГРАД

Тел./факс: (8442) 93 08 68

[info@volga.tavrida.ru](mailto:info@volga.tavrida.ru)

ГУБКИН

Тел./факс: (47241) 4 57 39

[info@kma.tavrida.ru](mailto:info@kma.tavrida.ru)

ЕКАТЕРИНБУРГ

Тел./факс: (343)260 54 85

[mail@ural.tavrida.ru](mailto:mail@ural.tavrida.ru)

ИРКУТСК

Тел./факс: (3952) 707 555

[info@irkut.tavrida.ru](mailto:info@irkut.tavrida.ru)

КАЗАНЬ

Тел./факс: (843) 299 50 53

[info@tat.tavrida.ru](mailto:info@tat.tavrida.ru)

КРАСНОЯРСК

Тел./факс: (3912) 27 20 51

[info@krsk.tavrida.ru](mailto:info@krsk.tavrida.ru)

ЛИПЕЦК

Тел./факс: (4742) 36 71 28

[info@lipetsk.tavrida.ru](mailto:info@lipetsk.tavrida.ru)

МОСКВА- ВОСТОК

Тел./факс: (495) 946 42 33

[info@mv.tavrida.ru](mailto:info@mv.tavrida.ru)

МОСКВА- ЦЕНТР

Тел./факс: (495) 261 83 09

[info@msk.tavrida.ru](mailto:info@msk.tavrida.ru)

МОСКВА - ЗАПАД

Тел./факс: (495) 946 42 33

[info@zapad.tavrida.ru](mailto:info@zapad.tavrida.ru)

Н. НОВГОРОД

Тел./факс: (8312) 51 14 87

[info@nnov.tavrida.ru](mailto:info@nnov.tavrida.ru)

НОВОСИБИРСК

Тел./факс: (383) 346 52 18

[info@nsib.tavrida.ru](mailto:info@nsib.tavrida.ru)

ОМСК

Тел./факс: (3812) 23 64 82

[info@omsk.tavrida.ru](mailto:info@omsk.tavrida.ru)

ПЕРМЬ

Тел./факс: (342) 249 71 55

[info@perm.tavrida.ru](mailto:info@perm.tavrida.ru)

РОСТОВ-НА-ДОНУ

Тел./факс: (863) 236 00 83

[info@don.tavrida.ru](mailto:info@don.tavrida.ru)

САМАРА

Тел./факс: (846) 262 30 30

[info@samara.tavrida.ru](mailto:info@samara.tavrida.ru)

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

Тел./факс: (812) 373 23 61

[info@spb.tavrida.ru](mailto:info@spb.tavrida.ru)

СУРГУТ

Тел./факс: (3462) 51 53 94

[info@surgut.tavrida.ru](mailto:info@surgut.tavrida.ru)

УФА

Тел./факс: (3472) 32 57 81

[info@ufa.tavrida.ru](mailto:info@ufa.tavrida.ru)

ХАБАРОВСК

Тел./факс: (4212) 38 19 68

[info@dv.tavrida.ru](mailto:info@dv.tavrida.ru)

ЧЕРЕПОВЕЦ

Тел./факс: (8202) 59 72 65

[info@vgda.tavrida.ru](mailto:info@vgda.tavrida.ru)

ЧЕРНОЗЕМЬЕ

Тел./факс: (4742) 40 83 74

[info@chzm.tavrida.ru](mailto:info@chzm.tavrida.ru)

ЧЕЛЯБИНСК

Тел./факс: (351)796 63 91

[tavrida@chel.surnet.ru](mailto:tavrida@chel.surnet.ru)
**БЕЛОРУССИЯ**

МИНСК

Тел.: +375(17) 241 76 12

[info@minsk.tavrida.ru](mailto:info@minsk.tavrida.ru)
**КАЗАХСТАН**

АСТАНА

Тел.: +7(3172)32 31 90

[info@kz.tavrida.ru](mailto:info@kz.tavrida.ru)