

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт энергетики и электротехники

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Режимы работы электрических источников питания, подстанций, сетей и систем
(направленность (профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему «Исследование способов обеспечения электробезопасности персонала при проведении работ по ремонту и обслуживанию линий электропередач до 110 кВ»

Студент(ка)

И.Н. Васильева

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель
Консультанты

В.К. Шакурский

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель программы д.т.н., профессор В.В. Вахнина

« ____ » _____ 2016 г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина

« ____ » _____ 2016 г.

Тольятти 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1 Анализ электротравматизма в распределительных сетях.....	5
1.1 Причины электротравматизма в распределительных сетях	5
1.2 Способы и средства контроля наличия напряжения.....	11
2 Исследование возможности снижения электротравматизма.....	16
2.1 Основные принципы защиты от электропоражения.....	16
2.2 Методы анализа оценки риска травматизма в электроустановках.....	26
2.2.1 Общий анализ риска и основные подходы к его оценке.....	26
2.2.2 Частотный анализ электротравматизма.....	32
2.3 Анализ конструкций и условий эксплуатации средств бесконтактного контроля наличия напряжения для ВЛ.....	34
3 Разработка рекомендаций по выбору сигнализатора напряжения при работе на ВЛ.....	53
3.1 Применение качественного анализа.....	53
3.1.1 Принципы построения диаграмм типа дерева.....	53
3.1.2 Количественный анализ диаграмм типа дерево.....	58
3.2 Разработка алгоритма выбора сигнализатора напряжения для работы в различных условиях.....	67
3.2.1 Требования безопасности при производстве работ на воздушных линиях.....	67
3.2.2 Требования по применению средств защиты в электроустановках.....	71
3.2.3 Климатические зоны.....	74
3.2.4 Алгоритм выбора сигнализатора.....	80
3.3. Выбор сигнализатора напряжения.....	83
Заключение.....	90
Список использованных источников.....	91

ВВЕДЕНИЕ

Электробезопасностью называется система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества [4]. Она достигается конструкцией электроустановок, техническими способами и средствами защиты, организационными и техническими мероприятиями. Требования (правила и нормы) электробезопасности конструкции и устройства электроустановок изложены в системе стандартов безопасности труда, а также в стандартах и технических условиях на электротехнические изделия.

Обеспечение электробезопасности при ведении работ в действующих электроустановках является одним из приоритетных направлений в электроэнергетике. Согласно статистике, наиболее высокий электротравматизм, в том числе и смертельный, происходит на воздушных линиях электропередачи (ВЛ) напряжением до 110 кВ. Это вызвано, в первую очередь, большой их протяженностью, недостаточной подготовленностью и оснащённостью электрозащитными средствами (ЭЗС) обслуживающего персонала.

Среди основных причин электротравм в электрических сетях можно выделить следующие: непроведение проверки отсутствия напряжения; подачу напряжения во время работы при отсутствии заземления; приближение на опасное расстояние к проводам, находящимся под напряжением. Проверка наличия напряжения зачастую не проводится из-за отсутствия электрозащитных средств, неисправности или ненадежности находящегося в эксплуатации электрооборудования.

Электрозащитные средства — это средства защиты, которые применяют от поражения электрическим током, необходимые для обеспечения эффективной электробезопасности при работах в распределительных устройствах.

Одними из перспективных видов ЭЗС, позволяющих предотвратить поражение обслуживающего персонала электрическим током, являются

бесконтактные устройства контроля наличия напряжения - сигнализаторы напряжения (СН). Индивидуальные сигнализаторы напряжения (СНИ) используют для определения наличия напряжения на проводах ВЛ с земли, а касочные сигнализаторы напряжения (СНК) предназначены для непрерывного контроля наличия напряжения при нахождении работника на близком к проводам расстоянии.

Применение сигнализаторов напряжения играет важную роль в обеспечении электробезопасности, что подтверждает статистика по холдингу РАО «ЕЭС России». Например, установлено, что в 2015 г. в электрических сетях десять смертельных электротравм можно было предотвратить при наличии у пострадавших сигнализаторов напряжения (35,7 % от общего числа смертельных электротравм в холдинге).

Изучение существующих конструкций сигнализаторов напряжения и особенностей их эксплуатации показало, что они не всегда способны обеспечить контроль напряжения для надежной защиты обслуживающего персонала. Среди причин низкой эффективности применяемых сигнализаторов напряжения можно выделить недостаточную изученность распределения электрического поля (ЭП) под проводами ВЛ с учетом влияния опоры и тела человека, подверженность применяемых СН внешним воздействиям, неоптимальность конструкций СН и их пространственного расположения.

Цель работы – повышение уровня электробезопасности персонала при эксплуатации и ремонте линий электропередач до 110 кВ путем разработки рекомендаций по выбору и применению средств бесконтактного контроля наличия напряжения на проводах.

1 Анализ электротравматизма в распределительных сетях

1.1 Причины электротравматизма в распределительных сетях

Анализ электротравматизма проводится с целью определения его закономерностей, причин и последствий, и что главное для разработки мероприятий по предупреждению электротравм среди электроперсонала.

Анализ травматизма по отдельным видам оборудования представляет немалый практический интерес хотя бы потому, что он может дать богатый материал для предъявления конкретных рекламаций к предприятиям, выпускающим электрическое оборудование.

Распределение электротравм по видам оборудования преследует цель выявить, в чем кроется причина поражения: в недочетах конструирования, изготовления и монтажа электрооборудования или же в низкой культуре его эксплуатации. В литературе по этому вопросу имеется крайне мало данных, что нельзя не поставить в связь с трудностями получения исходных сведений.

Проведенное изучение актов о несчастных случаях позволяет выделить три группы причин [14]:

1) около 40–45% электротравм объясняются недочетами эксплуатации оборудования, приводящими к снижению сопротивления изоляции, к появлению напряжения на нетоковедущих частях оборудования, которые не должны быть под напряжением, и, наконец, к неотключению оборудования при электрических повреждениях;

2) не менее 25–30% электротравм вызываются неудовлетворительной организацией рабочего места и недостаточным инструктированием работников, следствием чего могут быть: подача напряжения на оборудование, на котором работают люди; прикосновение к находящимся под напряжением токоведущим частям; неправильные операции с оборудованием, представляющим опасность для работающих; неумение оказать первую помощь пострадавшему;

3) от 30 до 35% поражений вызываются недочетами конструкции и монтажа оборудования, например наличием открытых или ненадежно укрытых токоведущих частей, применением металлических кожухов и элементов

конструкций (там, где могут применяться кожухи из изоляционных материалов), недостаточностью расстояния между токоведущими частями и металлическими элементами оборудования и т. д.

Если вторая группа причин вызывается, по существу, условиями эксплуатации, а третья – недочетами конструкции и монтажа оборудования, то первая охватывает условия эксплуатации, и недочеты конструкции.

Следовательно, в первом приближении можно считать, что 52% всех поражений происходят из-за неудовлетворительной эксплуатации электрооборудования [20].

Значительно сложнее устранить дефекты изготовления электроустановок, начиная от проектирования и заканчивая монтажом. Наличие их свидетельствует о том, как сложна проблема надежности, а возможно, и о том, как недостаточно внимание к ней. Решение этой проблемы должно будет в конце концов привести к полному устранению электротравматизма.

Анализируя электротравматизм, полезно выводить его удельные показатели по различным видам оборудования. Вот что дает сопоставление некоторых удельных показателей.

Если число электротравм, приходящихся на один электродвигатель, принять за единицу, то окажется, что на один электросварочный аппарат их приходится в 41 раз, на один переносный или передвижной временный электроприемник – в 72 раза, а на одну высокочастотную установку – в 118 раз больше [22].

Небезынтересно определить также соотношение электротравм, происходящих в стационарных и временных сетях напряжением ниже 1000 В. Приняв число электротравм, приходящихся на 1000 км стационарной электросети, за единицу, мы установим, что на ту же протяженность временной сети их приходится в 35 раз больше.

Указанные удельные показатели высчитаны по материалам специального обследования, проведенного на нескольких предприятиях, и, конечно, не могут быть распространены на всю промышленность страны. Тем не менее они

отображают в известной степени и общую картину. Так, не приходится сомневаться в том, что технический уровень эксплуатации стационарных электродвигателей значительно выше, чем другого электрооборудования. Это объясняется, в частности, тем, что стационарные электродвигатели обладают меньшим числом конструктивных недостатков и дефектов, допущенных в процессе изготовления.

Электротравмы происходят на оборудовании, весьма различном как по назначению, так и по конструкции [23]. Поэтому непросто сформулировать общие пожелания по повышению его надежности, исходя к тому же лишь из анализа электротравматизма. Однако с точки зрения электробезопасности можно выдвинуть следующие рекомендации:

а) при проектировании и изготовлении электрооборудования необходимо стремиться выполнять по возможности из изоляционных материалов конструктивные детали и конструкции в целом;

б) необходимо применять такие изоляционные материалы, которые надежно сохраняют свои изолирующие свойства;

в) необходимо окрашивать краской, обладающей изолирующими свойствами, металлические части аппаратов и приборов, которые могут оказаться при пробое изоляции под напряжением;

г) аппараты со сложной системой напряжения, и особенно те из них, которые приходится вскрывать в процессе их эксплуатации, надлежит снабжать простой и надежной блокировкой, исключающей возможность «шунтирования»;

д) должен быть обеспечен свободный доступ ремонтного персонала к токоведущим частям;

е) марки применяемых проводов и кабелей должны соответствовать условиям эксплуатации оборудования;

ж) при конструировании оборудования необходим всесторонний учет опыта эксплуатации, и в особенности уроков происшедших аварий и электротравм.

Воздушные линии электропередачи

Рассмотрев несчастные случаи за 2013-2015 годы, произошедшие на линиях электропередач, выделены несколько основных групп, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Несчастные случаи в воздушных сетях напряжением ниже и выше 1000 В

№ п/п	Работы, при которых произошли несчастные случаи	Значение в %
1.	При ремонте сети	36,3
2.	При обрыве и схлестывании проводов	22,7
3.	При производстве строительных работ вблизи линии электропередачи	10,1
4.	При подключении и переключении	12,8
5.	Прочие обстоятельства	18,1
	Итого:	100,0

Для сравнения, в 2011-2012 годах доля электротравм, возникших в результате обрыва и схлестывания проводов, составляла 26,7%. Некоторое снижение этой доли следует объяснить применением более надежной системы крепления, профилактикой и, наконец, разъяснительной работой среди населения.

Анализ несчастных случаев, происшедших на стационарных воздушных линиях передачи напряжением ниже 1000 В, показал, что 61,1% пострадавших были электромонтерами.

Во временных воздушных сетях всех напряжений причины поражений несколько иные (таблица 2).

Таблица 2 – Несчастные случаи во временных воздушных сетях

№ п/п	Работы, при которых произошли несчастные случаи	Значение в %
1.	При прикосновении к оборванному проводу, находившемуся под напряжением	37,4
2.	При прикосновении к проводу с поврежденной изоляцией, к части сооружения или к случайным предметам, оказавшимся по разным причинам под напряжением	23,6
3.	При ремонтах и подключениях сети к источнику питания	18,8
4.	При прикосновении к проводу, имевшему неудовлетворительную изоляцию	13,2
5.	Прочие обстоятельства	7,0
	Итого:	100,0

Причин, по которым произошли прикосновения, окончившиеся трагедией, так много, что все перечислить не представляется возможным. Скажем лишь, что около 35% прикосновений произошли вследствие дефектов конструкций и монтажа электрооборудования, а 65% – из-за нарушения изоляции проводов и кабелей, возникшего в процессе эксплуатации. Из общего числа пострадавших в этих сетях 71,5% были лицами неэлектропрофессий. Поэтому можно сказать, что одна из основных причин смертельных поражений заключается здесь в появлении напряжения на случайных предметах, частях сооружений вследствие соприкосновения их с поврежденным проводом. Так, семь поражений произошло при прикосновении человека к какому-либо предмету (сырая доска, влажная деревянная стена, столб и т. д.),

находившемуся в контакте с неизолированным проводом марки ПР и вследствие этого оказавшемуся под напряжением.

Воздействие электрического тока на человека зависит в первую очередь от значения силы тока и времени его прохождения через тело человека и может вызвать неприятные ощущения, ожоги, обморок, судороги, прекращение дыхания и даже смерть. Допустимым принято считать ток в 0,5 мА. При силе тока в 10-15 мА человек не может самостоятельно оторваться от электродов, разорвать цепь тока, в которую он попал. Ток в 50 мА поражает органы дыхания и сердечно-сосудистую систему. Ток в 100 мА приводит к остановке сердца и нарушению кровообращения и считается смертельным.

Многочисленные обследования несчастных случаев показали, что исход поражения не находится в прямой зависимости от величины тока, а определяется многими факторами и обстоятельствами и индивидуальными свойствами пострадавшего. Поэтому одна и та же величина тока оказывает, независимо от других факторов, различное влияние на разных людей и различно на одного и того же человека в зависимости от его состояния в момент поражения, степени возбуждения нервной системы, ее физиологической выносливости и реактивности.

Анализ показывает, что основными причинами поражений током в электрических сетях являются:

- а) несоблюдение элементарных защитных мероприятий;
- б) применение в сырых и особо сырых помещениях, а также на открытом воздухе проводов и установочных материалов (розетки, переходные втулки, изоляторы, щиты и т. п.), непредназначенных для работы в таких условиях;
- в) слабый контроль за состоянием заземления и зануления пусковой и защитной аппаратуры;
- г) недостаточный профилактический ремонт сетей и пускозащитных приборов, а также недооценка бесспорной опасности, которую представляет для людей напряжение ниже 127 В.

1.2 Способы и средства контроля наличия напряжения

На проводах и тросах выведенной в ремонт воздушной линии электропередачи (ВЛ), находящейся в зоне влияния другой или других ВЛ высокого напряжения, наводится напряжение относительно земли. Это напряжение может представлять существенную опасность для ремонтного персонала [10].

В соответствии с Правилами охраны труда при эксплуатации электроустановок перед началом работ на ВЛ, находящейся под наведенным напряжением, требуется путем соответствующих измерений произвести классификацию ВЛ по степени опасности наведенного напряжения [3]. С этой целью на отключенной и заземленной с обоих концов ВЛ (в распределительных устройствах (РУ) подстанций и станций) выполняют измерения уровня наведенного напряжения с последующим пересчетом к режиму передачи по влияющим ВЛ наибольшей мощности.

Если наибольшая величина наведенного напряжения по всей длине ВЛ не превышает 42 В, то линия относится к категории безопасного действия наведенного напряжения, и работы на ней можно проводить с использованием обычных средств защиты [8].

Линии, на которых наибольший уровень наведенного напряжения превышает 42 В, относят к категории линий с сильным или опасным действием наведенного напряжения. В соответствии с правилами техники безопасности на таких линиях работы должны производиться с использованием специальных защитных технических мероприятий (размещение заземлений по линии, разземление концов линии, разрезание проводов линии и др.).

Разработка мероприятий по защите от наведенного напряжения должна основываться на оценке условий электробезопасности на ВЛ, находящейся под наведенным напряжением при определенной схеме заземления ВЛ, линейного оборудования, рабочих участков и рабочих мест.

Оценку условий электробезопасности при работах на ВЛ под наведенным напряжением выполняют на основании результатов расчета и измерений

уровня наведенного напряжения при максимальной рабочей нагрузке влияющих ВЛ.

Выполнение требований правил техники безопасности предполагает наличие методики, позволяющей на основании однозначно определяемых признаков сконцентрировать внимание персонала на наиболее неблагоприятных в этом смысле ВЛ или их участках. В рекомендациях же правил техники безопасности по замерам наведенных напряжений отсутствуют какие-либо ориентиры на выбор точек измерения и характер проводимых замеров. В то же время такие измерения весьма трудоемки, так как требуют проведения замеров с учетом изменяющихся режимов ВЛ и меняющихся в течение года погодных условий.

Указанные трудности во многом могут быть преодолены при использовании предварительного расчетного анализа наведенных напряжений на отключенных ВЛ, которые в соответствии с рекомендациями правил техники безопасности должны рассматриваться как потенциально опасные [1, 19]. В этом случае работы по проведению измерений могут быть значительно сокращены, так как из перечня всех потенциально опасных линий можно будет исключить те (как показано ниже - большинство), для которых граница 42 В, в принципе, не достижима. Измерения не могут проводиться как контрольные мероприятия только для тех линий, на которых все же возможно появление напряжений свыше 42 В.

При работах на ВЛ под наведенным напряжением, кроме выбора режима заземления, необходимо соответствующим образом заземлять рабочие места и линейное оборудование на подстанциях или электрических станциях.

Приборы, используемые для осуществления контроля над напряжением.

Указатели напряжения для электроустановок напряжением выше 1000 В

Анализ электротравматизма по РАО «ЕЭС России» [28] показывает, что большая часть несчастных случаев при работе на электроустановках обусловлена несоблюдением правил техники безопасности. Например, отказ

применения при работе в действующих электроустановках указателей напряжения (УН).

Указатели напряжения - это переносные приборы, которые предназначены для проверки наличия или отсутствия напряжения на токоведущих частях. Такая проверка, например, необходима при работе на отключенных токоведущих частях, при контроле исправности электроустановок, отыскании повреждений в электроустановке, проверке электрической схемы и т.д.

Во всех этих случаях несомненно требуется установить лишь наличие или отсутствие напряжения, но не его значение, которое известно.

Все указатели имеют световой сигнал, загорание которого свидетельствует о наличии напряжения на проверяемой части или между проверяемыми частями. Указатели бывают для электроустановок до 1000 В и выше.

Работа с указателями напряжения свыше 1000 В, находящимися в эксплуатации, сопряжена с некоторыми трудностями, обусловленными большими габаритами и массой УН, низкой надежностью распознавания сигнала о наличии напряжения и т.д. Эти обстоятельства провоцируют осознанный отказ работников от проверок с помощью указателей напряжения, и приводят, как следствие, к электротравмам [21].

Однако за последние годы наблюдается повышение качества указателей напряжения. Происходит это, в основном, вследствие применения современной элементной базы и более подробного рассмотрения принципов работы УН. Например, основной недостаток старейшего указателя типа УВН-80 - это низкая надежность распознавания сигнала о наличии напряжения (особенно в солнечную погоду) из-за использования для визуальной сигнализации неоновой лампы. Известно, что неоновые лампы подвержены эффекту старения (снижение прозрачности колбы, уменьшение свечения лампы, повышение напряжения возникновения разряда), что также снижает надежность работы УН в целом. Следует учитывать, что отсутствие светового сигнала вследствие

порчи лампы может расцениваться как отсутствие напряжения на проверяемом объекте, хотя в действительности объект находится под напряжением.

Учитывая это, разработчики современных указателей напряжения вынуждены были отказаться от использования неоновых ламп для визуальной сигнализации. Так, в указателях напряжения стали применяться светодиоды, которые позволяют значительно увеличить яркость свечения по сравнению с неоновой лампой, а применение их совместно с фокусирующими линзами позволяет значительно увеличить расстояние распознаваемости тревожного сигнала.

Для улучшения восприятия визуальной информации в указателях напряжения свыше 1000В применяются бленды, но применение подобных устройств значительно увеличивает массу рабочей части, что затрудняет попадание контактом-наконечником на провод воздушной линии электропередачи, это в свою очередь может стать причиной замыкания проводов.

Помимо визуальной сигнализации, в современных указателях напряжения нашла применение акустическая сигнализация. Основная особенность заключается в том, что с ее помощью оператор может получать информацию, даже если он занят выполнением других задач, не связанных с контролем напряжения.

В старых указателях напряжения (УВН-80) подобная сигнализация отсутствовала из-за больших габаритных размеров излучателей, а также большой потребляемой мощности, необходимой для обеспечения требуемого уровня звукового давления.

В современных указателях напряжения для акустической сигнализации наиболее целесообразно использовать миниатюрный электродинамический излучатель со встроенным генератором. Другими достоинствами современных указателей напряжения являются: использование фокусирующей линзы и затенителя, тактильной сигнализации, малые габариты и масса рабочей части, отсутствие источника питания [31].

Современные указатели напряжения также не лишены недостатков. Рабочие части некоторых типов указателей напряжения имеют большие габаритные размеры, обладают значительной массой.

В связи с этим очевиден выбор в зависимости от условий работы (эксплуатации) новых более удобных и надежных УН, удовлетворяющих следующим требованиям:

- минимальная масса и размеры рабочей части;
- яркость светового сигнала должна быть достаточной для уверенного распознавания при высоком уровне внешней засветки;
- уровень звукового давления должен быть достаточным для уверенного распознавания при высоком уровне внешних шумов;
- высокая надежность;
- малая стоимость.

Для достижения поставленной цели предполагается решить следующие задачи:

- 1) исследовать находящиеся в эксплуатации сигнализаторы напряжения (СН): конструкции, функциональные возможности, условия применения;
- 2) оценить возможность повышения уровня электробезопасности при использовании различных типов СН;
- 3) разработать рекомендации по выбору и применению различных типов сигнализаторов напряжения в зависимости от условий работы персонала.

2 Исследование возможности снижения электротравматизма

2.1 Основные принципы защиты от электропоражения

Все существующие защитные меры по принципу их выполнения можно разделить на три основные группы [16]:

- Обеспечение недоступности для человека токоведущих частей электрооборудования.
- Снижение возможного значения тока через тело человека до безопасного значения.
- Ограничение времени воздействия электрического тока на организм человека.

Поражение человека происходит при совпадении двух факторов [13] $P(A)$ и $P(B)$, где: $P(A)$ - вероятность того, что при прикосновении к электроустановке человек попадет под электрическое напряжение; $P(B)$ - вероятность того, что количество электричества (т.е. ток и длительность его протекания), проходящее через тело человека, превысит допустимое значение.

Фактор $P(B)$ зависит от фактора $P(A)$, поэтому вероятность поражения электрическим током P_h определяется выражением (1):

$$P_h = P(B/A) P(A); \quad (1)$$

$P(A)$, в свою очередь, можно определить как (2):

$$P(A) = P(C) P(D), \quad (2)$$

где $P(C)$ - вероятность прикосновения человека к проводящим частям электроустановки; $P(D)$ - вероятность появления на проводящих частях электроустановки напряжения.

Таким образом, вероятность поражения определяется выражением (3):

$$P_h = P(C) P(D) P(B/A). \quad (3)$$

Защитные меры, в зависимости от того, на какой из трех сомножителей выражения, определяющего вероятность поражения P_h , они влияют (уменьшают), делятся на следующие:

Организационные меры защиты (для квалифицированного персонала), определяющие вероятность прикосновения человека к проводящим частям электроустановки:

- Назначение лиц, ответственных за безопасное проведение работ.
- Оформление работ нарядом-допуском, распоряжением или перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации.
- Выдача разрешения на подготовку рабочих мест и на допуск.
- Подготовка рабочих мест и допуск.
- Надзор во время работы.
- Оформление переводов на новое рабочее место.
- Оформление перерывов и окончания работ.
- Применение средств индивидуальной защиты.

К ответственным за безопасное ведение работ относятся выдающий наряд или отдающий распоряжение, утверждающий перечень работ, которые выполняются в порядке текущей эксплуатации; ответственный руководитель работ; допускающий; производитель работ; наблюдающий, а также члены бригады.

Выдающий наряд или отдающий распоряжение определяет необходимость и возможность безопасного выполнения работ. Он несет ответственность за достаточность и правильность за меры безопасности, которые указываются в наряде (распоряжении), за состав бригады (качественный и количественный), за назначение ответственных за безопасность, а также за соответствие перечисленных в наряде работников выполняемой работе, за проведение целевого инструктажа ответственного руководителя работ (или производителя работ, наблюдающего).

Ответственный руководитель работ назначается, как правило, при выполнении работ в электроустановках напряжением выше 1000 В (ниже – обычно не назначается).

Допускающий назначается из числа оперативного персонала и несет ответственность за правильность и достаточность принятых мер безопасности и также за соответствие их мерам, указываемым в наряде или распоряжении, характеру и месту работы, за правильный допуск к работе, а также за полноту и качество проводимого им целевого инструктажа.

Производитель работ несет ответственность за соответствие подготовленного рабочего места указаниям наряда и принятию дополнительных мер безопасности, которые необходимы по условиям выполнения работ; полноту целевого инструктажа членов бригады; наличие, исправность и правильное применение необходимых средств защиты, инструмента, инвентаря и приспособлений, ограждений, плакатов, заземлений, запирающих устройств; безопасное проведение работы и осуществляет постоянный контроль за членами бригады.

Наблюдающий отвечает за: соответствие подготовленного рабочего места указаниям, которые предусмотрены в наряде; четкость и полноту целевого инструктажа членов бригады; наличие и сохранность установленных на рабочем месте заземлений, ограждений, плакатов и знаков безопасности, запирающих устройств приводов; безопасность членов бригады в отношении поражения электрическим током электроустановки.

Возможно не более одного совмещения обязанностей ответственных за безопасное ведение работ.

Наряд оформляется в двух экземплярах. При передаче по телефону, радио он выписывается в трех экземплярах. В последнем случае работник, выдающий наряд, оформляет один экземпляр, а работник, принимающий текст в виде телефонограммы или радиogramмы, факса или электронного письма, заполняет свои два экземпляра наряда и после проверки на месте подписи выдающего наряд указывает его фамилию и инициалы, подтверждая запись своей подписью. Также разрешено оформлять наряд в электронном виде и передавать по электронной почте.

Однако в тех случаях, когда производитель работ назначается одновременно допускающим, наряд заполняется в двух экземплярах независимо от способа его передачи. Один экземпляр документа остается у выдающего наряд.

В зависимости от местных условий (расположения диспетчерского пункта) один экземпляр наряда остается у работника, выдающего разрешение на подготовку рабочего места и допуск (диспетчера).

Выдается наряд на срок не более 15 календарных дней со дня начала работы. Но разрешается его продлевать 1 раз на срок не более 15 календарных дней. Наряд остается действительным при различных перерывах в работе.

В электроустановках напряжением выше 1000 В допускается выдавать один наряд для одновременной работы на сборных шинах и всех присоединениях при условии, что напряжение снято со всех токоведущих частей, в том числе с вводов ВЛ и КЛ, и заперт вход в соседние электроустановки (сборки и щиты до 1000 В могут оставаться под напряжением).

Допускается выдавать также один наряд на выполнение работ на сборных шинах РУ, распределительных щитов, сборок только при полностью снятом напряжении со всех токоведущих частей, в электроустановках напряжением до 1000 В.

Работы в электроустановках могут проводиться по распоряжению, являющемуся письменным заданием на производство работы, определяющим ее содержание, место, время, и если требуются меры безопасности и работников, которым поручено ее выполнение, с указанием их групп по электробезопасности (далее - распоряжение). Распоряжение имеет разовый характер и срок его действия определяется продолжительностью рабочего дня или смены исполнителей.

Работник, который дает разрешение на подготовку рабочих мест и на допуск, несет ответственность за достаточность предусмотренных мер для выполнения работ по отключению и заземлению

оборудования и возможность их осуществления, а также за координацию времени и места работы допускаемых бригад.

Работник, дающий разрешение на подготовку рабочего места и на допуск, сообщает дежурным или оперативно-производственным работникам, которые подготавливают рабочее место, а также допускающим о предварительно выполненных операциях по отключению и заземлению оборудования.

Подготовка рабочего места и допуск бригады к работе осуществляется только после получения разрешения от оперативного персонала, в управлении и ведении которого находится оборудование.

Не допускается изменять предусмотренные нарядом меры по подготовке рабочих мест.

Подготовка рабочего места – выполнение технических мероприятий для предотвращения воздействия на работающих опасных производственных факторов на рабочем месте до начала работ.

С момента допуска бригады к работам надзор за ней в целях предупреждения нарушений требований техники безопасности возлагается на производителя работ или наблюдающего. Производитель работ и наблюдающий должны все время находиться на месте работы по возможности на том участке, где выполняется наиболее ответственная работа.

Наблюдающему запрещается совмещать надзор с выполнением другой работы.

Ответственный руководитель и оперативный персонал обязаны заниматься периодической проверкой соблюдения работающими правил техники безопасности. При обнаружении нарушений правил техники безопасности или выявлении других обстоятельств, которые могут угрожать безопасности работающих, у производителя работ отбирается наряд и вся бригада удаляется с места работы.

Только после устранения обнаруженных нарушений и неполадок бригада может быть в общем порядке вновь допущена оперативным персоналом к

работе в присутствии ответственного руководителя с оформлением допуска в наряде.

При перерыве в работе на протяжении рабочего дня (на обед, по условиям производства работ) бригада выводится из РУ. Наряд остается на руках у производителя работ (наблюдающего). Плакаты, ограждения и заземления остаются на месте. Ни один из членов бригады не имеет права войти после перерыва в РУ в отсутствие производителя работ или наблюдающего.

Допуск бригады после такого перерыва оперативным персоналом не производится. Производитель работ (наблюдающий) сам указывает бригаде место работы.

Работа на нескольких рабочих местах одного и того же присоединения по одному наряду может производиться при соблюдении следующих условий: все рабочие места данного присоединения подготавливаются оперативным персоналом и принимаются производителем работ и ответственным руководителем работ до начала работ; производитель работ с бригадой допускается на одно из рабочих мест присоединения; в электроустановках с постоянным оперативным персоналом перевод бригады на другое рабочее место осуществляется допускающим; на электроустановках без постоянного оперативного персонала перевод бригады на другое рабочее место при отсутствии допускающего производится ответственным руководителем; перевод бригады на новое рабочее место оформляется в наряде "Ежедневный допуск к работе и ее окончание", и если перевод осуществляется ответственным руководителем, он расписывается в таблице вместо допускающего.

Обеспечение работающих надежными и эффективными средствами индивидуальной защиты способствует повышению безопасности труда, снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости.

Эффективность использования СИЗ во многом зависит от правильного их выбора и эксплуатации. При выборе средств индивидуальной защиты необходимо учитывать конкретные условия производственного процесса, вид и длительность воздействия на работающих опасного и вредного производственного фактора, а также индивидуальные особенности работающих. Только правильное применение СИЗ может обеспечить максимальный защитный эффект от их использования на рабочих местах.

Организационно-технические меры, определяющие вероятность появления на проводящих частях электроустановки напряжения:

- Изоляция и ограждение токоведущих частей электрооборудования, применение блокировок, безопасных режимов работы сети, защитных средств, предупредительных плакатов, сигнализации, защитной изоляции, изолирования рабочего места, переносных заземлителей и др.П

Прикосновение к токоведущим частям всегда может быть опасным, даже в сети напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью и малой емкостью.

Нередко опасно даже приближение к токоведущим частям. Чтобы исключить возможность прикосновения или опасного приближения к незаизолированным токоведущим частям, должна быть обеспечена недоступность последних посредством ограждения или расположения токоведущих частей на недоступной высоте или в недоступном месте.

Технические меры защиты, определяющие P(B/A):

- Применение низких напряжений.
- Защитное разделение сетей.
- Контроль, профилактика изоляции, обнаружение ее повреждений, защита от замыканий на землю.
- Компенсация емкостных токов утечки.
- Защитное заземление.
- Защитное зануление.
- Защитное отключение.

- Система уравнивания потенциалов.
- Двойная изоляция, изолирование рабочего места.
- Защита от переходанапряжения с высшей стороны на низшую.
- Грозозащита.

Каждая из перечисленных технических мер защиты требует специального рассмотрения.

Низкое напряжение - это номинальное напряжение не более 42 В, применяемое для уменьшения опасности поражения электрическим током.

Низкие напряжения используются чаще всего для питания ручного электрифицированного инструмента и переносных ламп, так как при работе с ними человек находится в длительном контакте с корпусами этого оборудования и подвергается повышенной опасности поражения электрическим током в случае повреждения изоляции. В производственных условиях ПУЭ предусматривают применение малых напряжений 12 и 36 (42) В.

Низкие напряжения сами по себе обеспечивают и сравнительно небольшие значения тока через тело человека.

Но применение малых напряжений не обеспечивает полной гарантии безопасности. Электропоражения людей происходили даже при напряжении ниже 12 В, в том числе и со смертельным исходом.

Защитное разделение сети — деление электрической сети большой протяженности на короткие участки. Оно осуществляется путем подключения отдельных электроприемников через разделительный трансформатор, защитное действие которого основано на том, что он отделяет электроприемник от первичной сети и сети заземления. Вследствие этого при пробое изоляции в электроприемнике на корпус опасности для человека не возникает.

Разделительные трансформаторы должны удовлетворять следующим требованиям: первичное напряжение — до 1 кВ, а вторичное — до 380 В.

Для профилактики изоляции осуществляют периодический и постоянный ее контроль. В сетях с изолированной нейтралью ток через тело человека при

однофазном прикосновении определяется сопротивлением изоляции и емкостью сети относительно земли.

Контроль и профилактика изоляции позволяют поддерживать значение сопротивления на высоком уровне. Емкость же сети не зависит от каких-либо дефектов, она определяется геометрическими параметрами сети протяженностью линий, высотой подвеса воздушной или толщиной изоляции кабельной сети и т.п. Поэтому емкость сети не может быть снижена.

Уменьшение значения емкостной составляющей тока утечки можно добиться применением компенсирующих устройств компенсирующая катушка и т.п.

Защитное заземление - преднамеренное электрическое соединение с землей или с эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением. Целью защитного заземления является снижение до малого значения напряжения относительно земли на проводящих нетоковедущих частях оборудования.

Защитное заземление применяется в сетях с изолированной нейтралью напряжением до 1 кВ. Принцип действия защитного заземления основан на перераспределении падений напряжения на участках цепи фаза земля и корпус земля. При наличии заземления уменьшается напряжение, под которое попадает человек.

Зануление как защитная мера применяется в сетях с глухозаземленной нейтралью напряжением до 1 кВ. Это преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным проводником металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением.

Целью зануления является устранение опасности поражения человека при пробое на корпус оборудования одной фазы сети.

Защитное отключение является эффективной и очень перспективной мерой защиты. Защитным отключением - это быстродействующая защита, обеспечивающая автоматическое отключение электроустановки при возникновении в ней опасности поражения током. Основными

характеристиками устройств защитного отключения УЗО являются значение тока утечки, на которое реагирует устройство, называемое уставкой, и быстродействие.

Двойная изоляция - это электрическая изоляция, которая состоит из рабочей и дополнительной изоляции.

Она является надежным и перспективным средством защиты человека от поражения электрическим током. Электрооборудование, изготовленное с двойной изоляцией, маркируется особым знаком. Особенно эффективно защитное действие двойной изоляции в электроинструменте.

В данных Рекомендациях в первую очередь рассматривается защитное отключение, как одно из наиболее эффективных электротехнических средств.

Современная система электробезопасности должна обеспечивать защиту человека от поражения в двух наиболее вероятных и опасных случаях:

- при прямом прикосновении к токоведущим частям электрооборудования;
- при косвенном прикосновении.

Под косвенным прикосновением понимается прикосновение человека к открытым проводящим частям оборудования, на которых в нормальном режиме (исправном состоянии) электроустановки отсутствует электрический потенциал, но при каких-либо неисправностях, вызвавших нарушение изоляции или ее пробой на корпус, на этих частях возможно появление опасного для жизни человека потенциала.

Система электробезопасности включает в себя ряд организационных и технических мероприятий. Согласно ГОСТ Р 50571.3-93 п. 412 для защиты от прямого прикосновения служат мероприятия, предотвращающие прикосновение к токоведущим частям: изоляция токоведущих частей, применение ограждений и оболочек, установка барьеров, размещение вне зоны досягаемости.

Дополнительной защиты от электропоражения при прямом прикосновении можно достичь путем применения защитного устройства отключения.

Устройство защитного отключения (УЗО) само по себе является предупреждающим электрозщитным мероприятием, а в сочетании с современными системами заземления еще и обеспечивают высокий уровень электробезопасности.

При косвенном прикосновении защита от поражения электрическим током обеспечивается такими мероприятиями, как применение УЗО, а также применение нулевых защитных проводников в электроустановках с различными системами заземления в комплексе с защитными устройствами от сверхтока (предохранителями, автоматическими выключателями).

2.2 Методы анализа оценки риска травматизма в электроустановках

2.2.1 Общий анализ риска и основные подходы к его оценке

Анализ причин техногенных угроз на объектах электроэнергетики показал, что более 30 % аварий, пожаров и электротравм происходит из-за крайней степени изношенности электрических сетей, 40 % - из-за несовершенства нормативно-правовой базы и несоблюдения правил технической эксплуатации электроустановок, а также неквалифицированного обслуживания электроустановок и приборов персоналом и населением.

Законом, регламентирующим функционирование опасных объектов, предусматривается введение специальной декларации, обязательной частью которой является оценка и прогноз аварийного риска, который характеризует уровень опасности данного объекта. Основы безопасности, содержащие концептуальные положения теории риска. Большинство этих работ затрагивают опасные производства химического и ядерного профиля.

К основным видам техногенных опасностей относится электрическая (или электромагнитная), которая в силу своей массовости проявляется во

многих аварийных или штатных режимах электроустановок, в виде электропоражения людей, пожаров и опасных электромагнитных излучений.

Рассмотрим систему научно-технического обеспечения безопасности электроустановок [11]. При этом ограничимся лишь мероприятиями, направленными на предотвращение тех аварийных режимов, которые могут вызвать электрическое поражение людей, а также несчастные случаи при нормальной эксплуатации электроустановок. Представим систему научно-технического обеспечения безопасности в виде пяти взаимосвязанных подсистем (рисунок 1).

Такое разбиение в известной мере является условным. В качестве основных подсистем выделены две: анализ и оценка риска [5, 7]. Подсистема 1 предназначена аккумулировать информацию о системе безопасности объекта и окружающей обстановки.

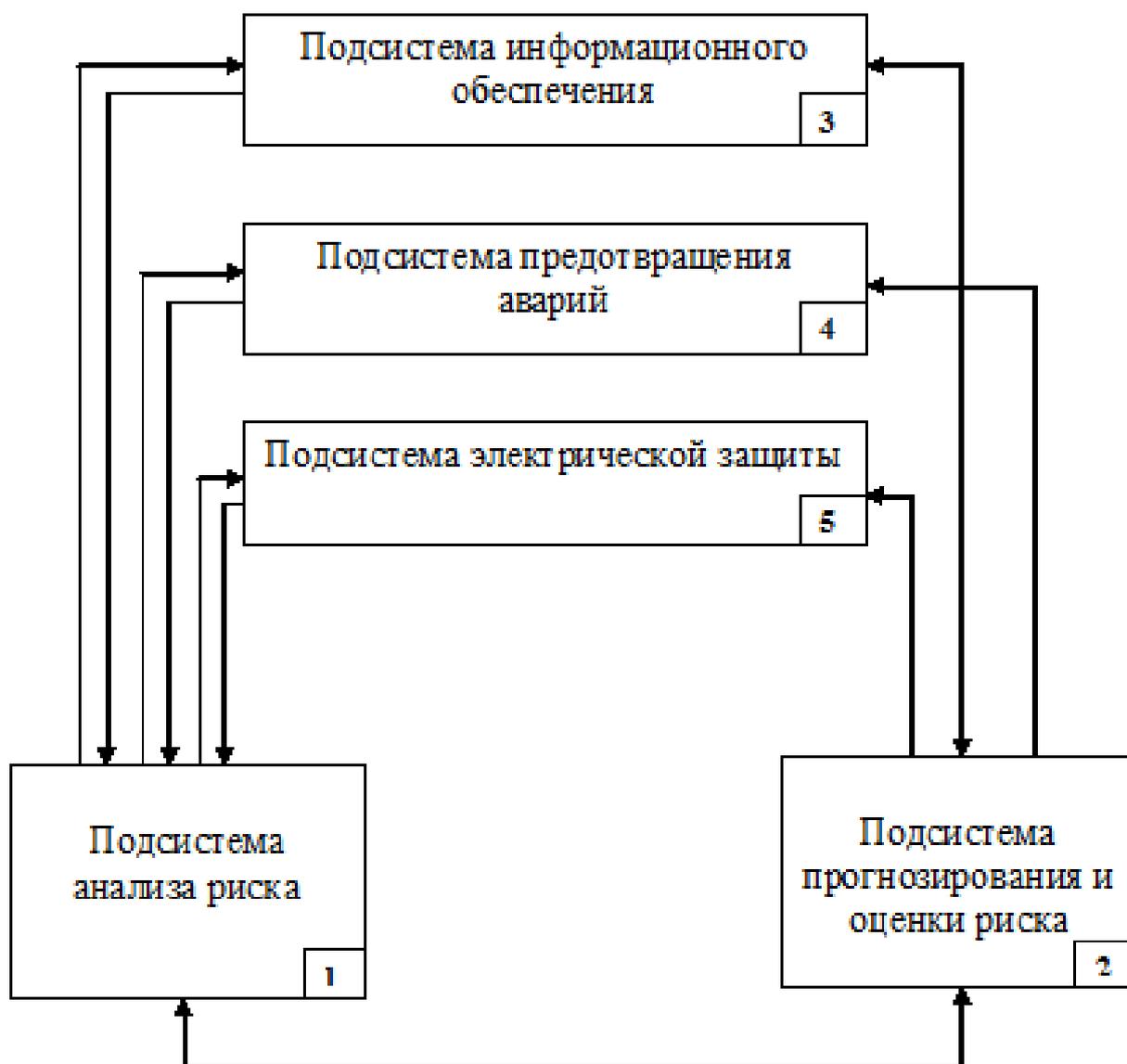


Рисунок 1 – Блок-схема системы научно-технического обеспечения

Подсистема 2 выполняет функции оценки и прогнозирования возможных аварий и несчастных случаев, а также разработки рекомендаций по корректирующим воздействиям на объект в целом и на остальные подсистемы с тем, чтобы обеспечить снижение величины риска и создать условия для поддержания его на приемлемом уровне. Назначение подсистем 3-5 вытекает из их названия.

Целью анализа оценки риска электротравмы является выявление и идентификация источников опасности с установлением связей в системе

«человек-электроустановка-среда» (Ч-Э-С), а также оценка ущерба, который может быть причинен пострадавшему человеку, организации, в частности, страховым компаниям, и в целом обществу. Как известно, ущерб вызывается цепочкой логически связанных причинных факторов, приводящих к травмоопасным последствиям. При анализе и оценке риска используются различные подходы, один из которых сводится к определению частоты возникновения травмоопасной ситуации в электроустановке, принимаемой с определенными допущениями за ее вероятность, а также возможного материального ущерба на основе ретроспективного анализа и оценок несчастных случаев на объектах энергетической отрасли. Чем больший объем статистических данных привлекается для ретроспективного анализа, тем с большей гарантированной вероятностью оценивается риск.

Анализ риска представляет собой сложную процедуру, включающую ряд этапов [59]. Рассмотрим наиболее полную блок-схему анализа риска. До начала проведения анализа должны быть определены: объект исследования, цель, степень глубины анализа и ограничения на анализ.

Вся процедура анализа риска может быть разбита на ряд блоков:

- блок анализа первичной информации, предназначенный для выявления основных опасностей, их идентификации и классификации по категориям опасности;
- блок опасности вероятностей (частоты) возникновения электротравматизма;
- блок оценки ущерба.

Первый этап (рисунок 2) включает описание системы «человек-электроустановка-среда». Здесь должна быть собрана и изучена следующая информация: структура объекта; пространственное размещение его элементов; основные виды работы, осуществляемые на электроустановке; отказы оборудования, имевшие место; эксплуатационная надежность оборудования; возможные ошибочные действия оператора и т.д.

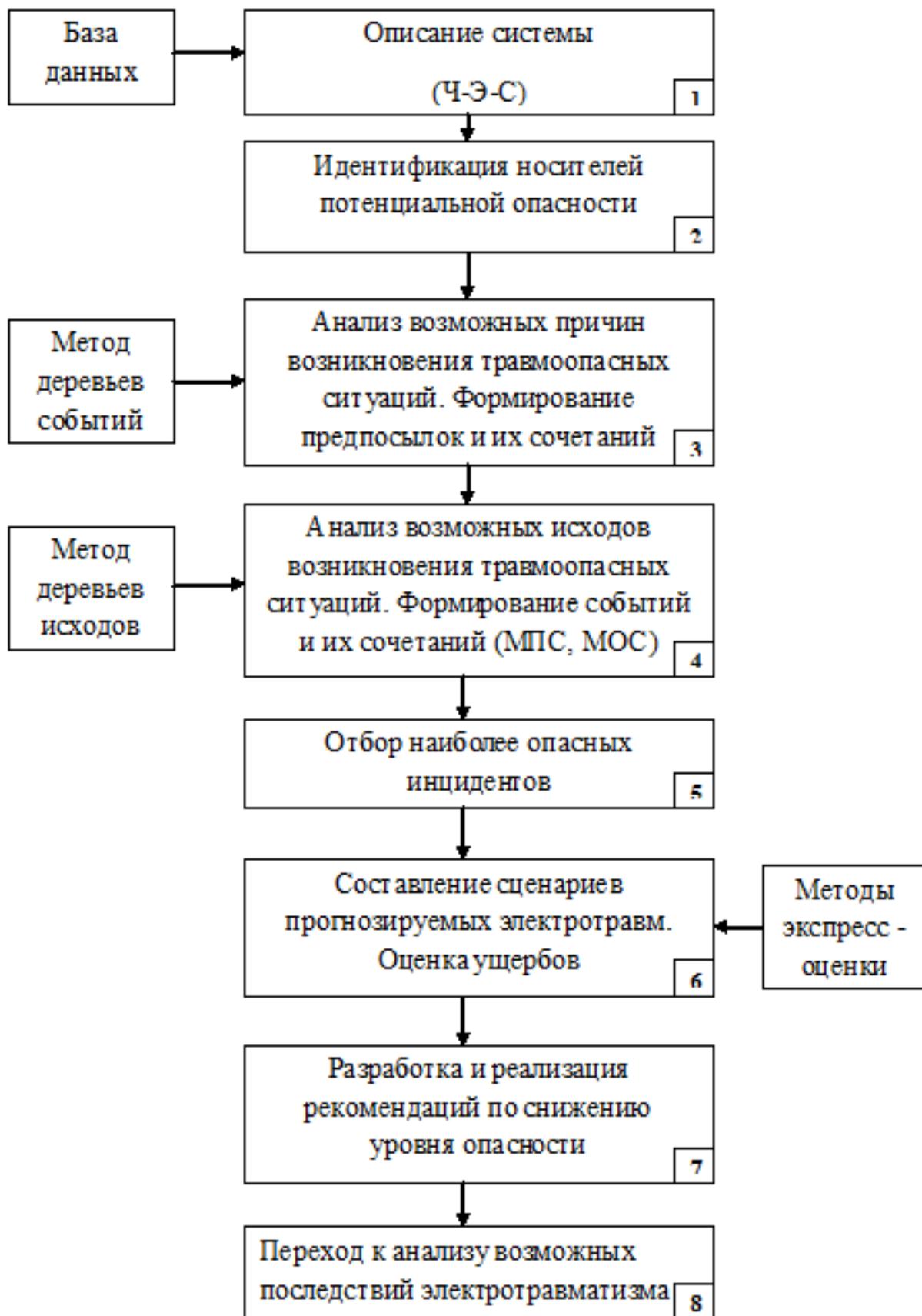


Рисунок 2 – Блок–схема предварительного анализа опасностей

Второй этап содержит таксономию потенциальной опасности и ее классификацию. На этом этапе важно выделить наиболее опасные источники.

Третий этап предназначен для выявления возможных инцидентов (электротравм). Анализ состоит в построении прединцидентных сочетаний несчастных случаев: иницирующие события – промежуточные события – инцидент. При этом следует учитывать различные, возможные иницирующие события, такие как авария электроустановки, отсутствие или отказ средств электрозащиты и т.д. На этом этапе чаще всего используется метод деревьев событий в предположении, что верхнее нежелательное событие представляет собой электротравму.

Четвертый этап – анализ постинцидентных сочетаний исходов, которые могут иметь место после инцидента — получения электротравмы. На этом этапе может быть с успехом использован метод деревьев исходов, при условии, что здесь рассматривается в виде инцидента один из возможных его исходов: (электротравма с летальным исходом, инвалидность, временная потеря трудоспособности).

Пятый этап включает отбор наиболее опасных инцидентов и формирование окончательного итогового его списка. При составлении такого списка используются методы, позволяющие ранжировать инциденты и отбирать среди них наиболее опасные и производить оценку возможных ущербов.

Шестой этап предполагает составление сценариев несчастных случаев на основе итогового списка инцидентов.

Заключительный блок содержит разработку рекомендаций по снижению уровня опасности электроустановок.

2.2.2 Частотный анализ электротравматизма

Частотный анализ (ЧА) является одним из основных этапов анализа и прогнозирования риска [26]. Если отсутствуют необходимые данные, позволяющие определить интенсивность (вероятность) травмоопасных ситуаций (ТС), то определить риск травмы от электроустановки, проблематично. Это касается в первую очередь бытового и непромышленного электротравматизма, статистика которого в настоящее время практически отсутствует. В этой связи возникают существенные трудности в ретроспективном анализе причин электротравматизма, обработки статистических данных и получения необходимых сведений для определения вероятностей различных событий, предотвращающих возникновение ТС.

Частотный анализ опирается на использование основных положений теории вероятностей и математической статистики, теории надежности и алгебры логики. На рисунке 3 представлена блок-схема частотного анализа, которая отражает основные его процедуры.

Известны различные пути решения данной задачи. Традиционный путь основан на использовании ретроспективных данных в соответствующих объемах информации, последующей обработкой этих данных и применения метода экспертных оценок. Математические методы описывают формализованное состояние исследуемой системы с помощью Марковских цепей. Третий путь, по нашему мнению, наиболее перспективный, состоит в использовании графических представлений совокупности различных случайных событий, приводящих к электротравматизму[6]. Это сочетание событий, предшествующих инциденту (ТС) и сочетание последующих событий от инцидента до его исхода. Первые, как уже отмечалось, графически изображаются с помощью деревьев событий (ДС), вторые – с помощью деревьев исходов (ДИ). На рисунке 3 изображены необходимые блоки и методы, используемые при анализе ДС и ДИ.

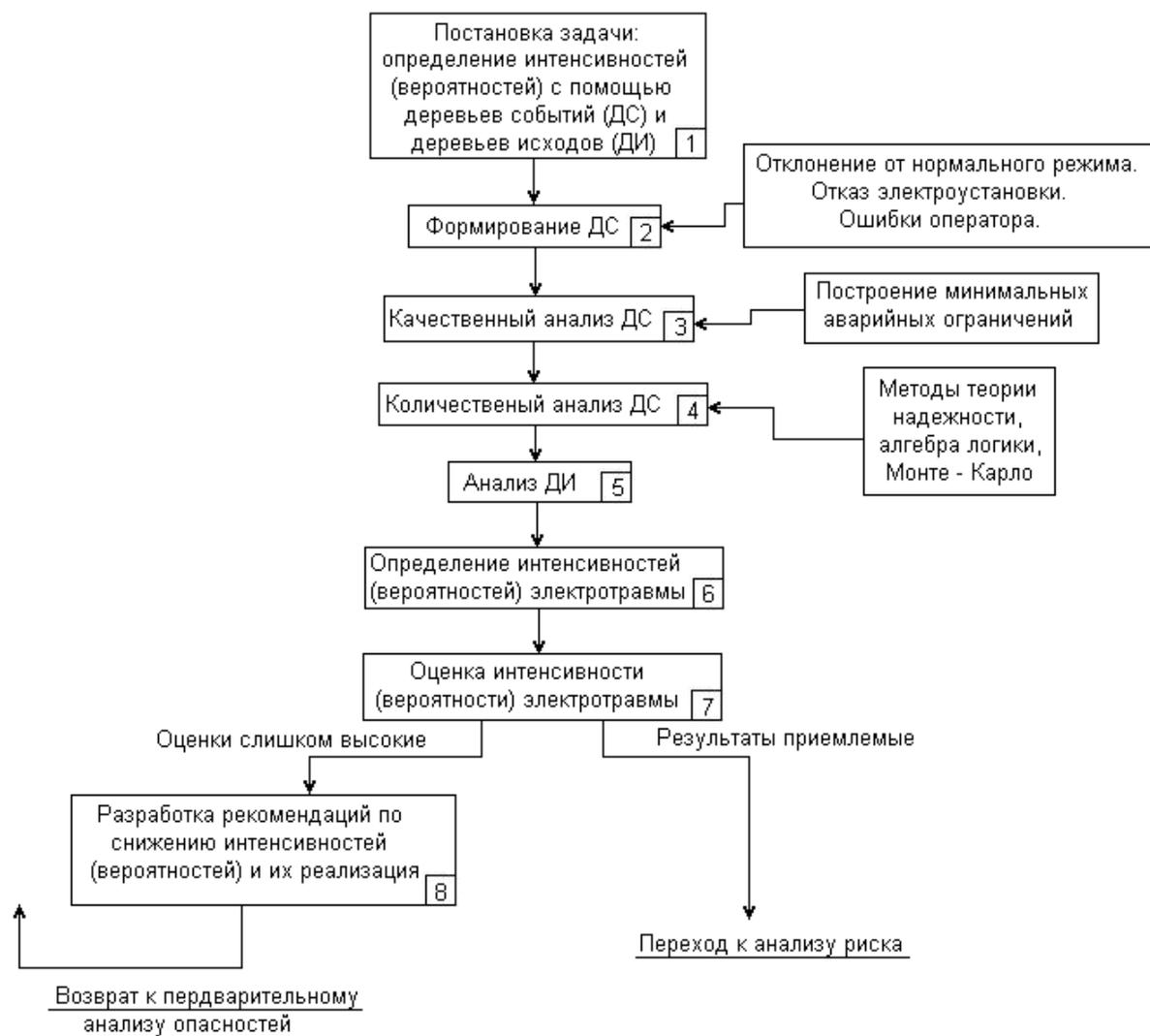


Рисунок 3 – Блок–схема частотного анализа

Качественный анализ модели ДС включает построение минимальных сочетаний предшествующих событий. При количественном анализе деревьев событий используются следующие методы: теория надежности, алгебра логики, метод статистических испытаний Монте-Карло. После того, как определены интенсивности (вероятности) несчастных случаев, необходимо выполнить их оценку (блок № 7), т.е. сравнить их с допустимыми приемлемыми значениями. Если результаты сравнения приемлемы, частотный анализ закончен и следует приступить к последствиям исходов, т.е. оценки материального ущерба. В противном случае (блок № 8) необходимо выполнить обоснование рекомендаций по снижению интенсивностей (вероятностей) наиболее опасных событий, связанных с поражением человека от электроустановки.

2.3 Анализ конструкций и условий эксплуатации средств бесконтактного контроля наличия напряжения для ВЛ

Для предварительного выявления отсутствия или наличия напряжения возможно применение указателей напряжения (УН) бесконтактного типа, а также некоторых видов сигнализаторов напряжения (СН), достоинством которых является то, что они позволяют провести проверку без подъема на опору, с земли [58].

Получение информации о наличии напряжения на токоведущих частях электроустановок производится с помощью контактных указателей и бесконтактных сигнализаторов (индикаторов) напряжения [18]. Информация о наличии и уровне напряжения обычно передается оператору с помощью световых и (или) звуковых сигналов опасности, которые обладают различной степенью быстроты и надежности восприятия. Постоянный рост требований надежности восприятия требует новых подходов к задаче выбора и размещения средств отображения информации (индикаторов).

Существуют стандарты, устанавливающие критерии по восприятию световых, звуковых и тактильных сигналов опасности для того, чтобы люди могли опознать эти сигналы и реагировать на них. При создании новых приборов необходимо обеспечить согласование их систем сигналов с существующими стандартами для того, чтобы избежать противоречий и возникновения риска неправильной интерпретации.

Сигналы опасности, вырабатываемые средствами измерения и сигнализации, должны быть эффективными при всех условиях их использования, включая условия возникновения помех процессу распознавания со стороны окружающей среды. В качестве помех можно рассматривать фоновые оптические и звуковые источники, препятствующие восприятию информационного сигнала. Степень влияния помех зависит от разных факторов, таких как расстояние от источника сигнала, направленность излучения, физических свойств среды и т.д.

В настоящее время в зависимости от требований, выдвигаемых к индикации, применяются оптические, акустические и тактильные индикаторы. В качестве основных видов индикации чаще всего используют первые два типа индикаторов, обладающих своими достоинствами.

Основная особенность акустических индикаторов заключается в том, что они позволяют получать информацию, в то время когда оператор занят выполнением других задач. Это повышает эффективность при необходимости двигаться и быстро реагировать на изменения измеряемой величины (например, превышение заданного порога). Учитывая особенности человеческого слуха предпочтительнее всего выбирать частоты в диапазоне от 500 до 3000 Гц. В зависимости от степени опасности звуковые сигналы могут иметь разную временную и частотную модель, что позволяет четко разграничивать аварийный сигнал от предупреждающего сигнала. На практике рекомендуется использовать не более двух различных длин волн с соотношением не менее 1:3, а также периодически повторяющиеся группы импульсов с продолжительностью периода от 0,25 до 0,125 с.

При необходимости индицировать большое число состояний можно использовать акустические индикаторы с речевой информацией. Данный вариант более гибкий и легко интерпретируемый, но обладает меньшей помехоустойчивостью по сравнению с обычными звуковыми сигналами.

Оптические индикаторы по сравнению с акустическими индикаторами позволяют передавать большие объемы информации и меньше влиять на показания других приборов. Более высокие требования, предъявляемые к расположению оптических индикаторов относительно поля зрения оператора, снижают пространство приема сигнала и приводят к снижению оперативности реакции. На Рисунке 4 приведены области пригодности сигнала относительно оси зрения в случае нормального зрения оператора. Приведенные углы носят рекомендательный характер и могут меняться, например при восприятии красок они сужаются.

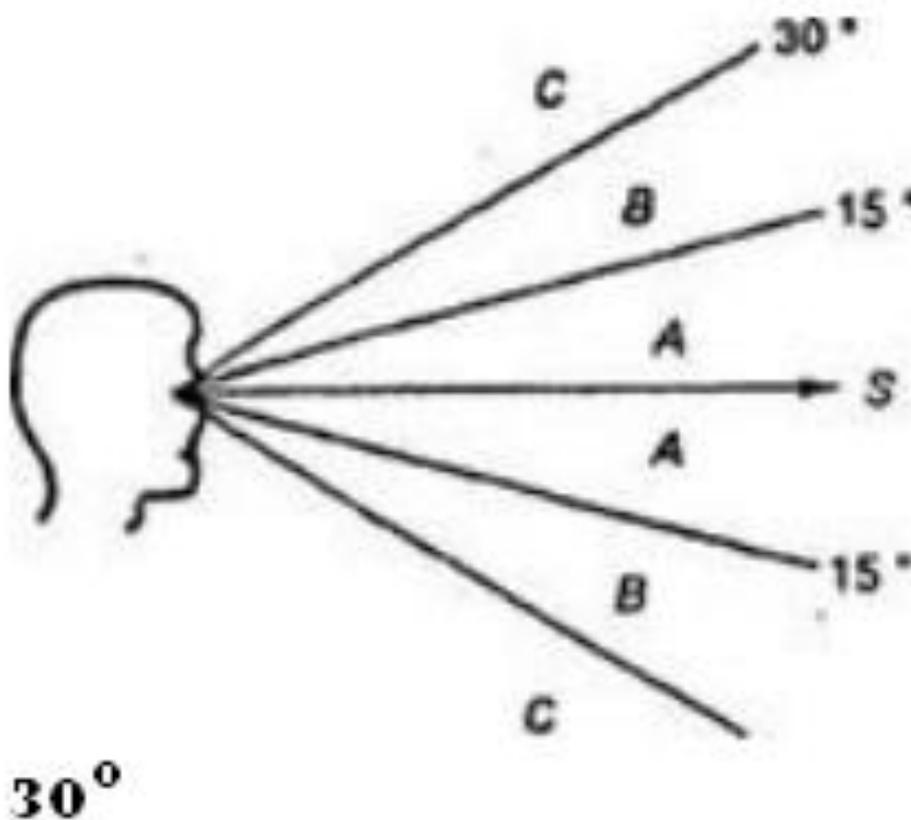


Рисунок 4 – Обнаружение сигнала в вертикальном поле зрения

Узнаваемость сигнала может дополнительно обеспечиваться комбинацией таких характеристик, как: яркость, цвет, пространственное расположение, эффект мигания.

Улучшение восприятия опасной ситуации и снижение остроты внимания оператора можно получить, применяя комбинированную индикацию. Например, синхронная подача звуковых и световых сигналов расширяет возможности использования приборов в различных условиях.

В случаях затруднения восприятия оптической и звуковой информации необходимо передавать или дублировать данные тактильным способом, например вибрацией, пропорциональной уровню измеряемой величины. Высокой чувствительностью к тактильным индикаторам обладают руки, но следует учитывать случаи, когда необходимо применять перчатки, заметно снижающие надежность восприятия тактильного сигнала.

С появлением индивидуальных сигнализаторов напряжения стало возможным контролировать уровень напряжения с земли, что позволило лишней раз не рисковать своей жизнью.

Перед ними не стоит задача определения с заданной точностью значения контролируемой величины. Это обстоятельство позволяет упростить их конструкцию, повысить удобство эксплуатации и надежность.

Необходимость применения при работе на электроустановках устройств контроля наличия напряжения подтверждается материалами расследований несчастных случаев, происшедших в электроэнергетике. Анализ материалов по электротравматизму показывает, что наибольшее число травм связано с тем, что не было проверено наличие напряжения. Распространенной причиной является также нарушение безопасного расстояния. Установлено, в частности, что в электрических сетях РАО «ЕЭС России» в девяти случаях в 2013 г. и в десяти - в 2014 г. можно было предотвратить смертельные электротравмы при наличии у пострадавшего сигнализаторов напряжения (для сравнения, общее количество смертельных электротравм в РАО в 2013 г. - 34, в 2014 - 28).

Причинами, по которым не было проверено наличие напряжения, являются: отсутствие необходимых приборов, их неисправность или неприменение. Помимо низкой производственной дисциплины, осознанное неприменение электрозащитных средств объясняется тем, что имеющееся оборудование неудобно в эксплуатации, громоздко и морально устарело.

Многолетняя статистика производственного электротравматизма в электроэнергетике дает стабильное соотношение между числом смертельных травм и общим травматизмом. Так, в случаях механического травмирования человека летальным исходом заканчивается приблизительно один случай из тридцати. Но при попадании человека под напряжение смертью пострадавшего заканчивается каждый второй несчастный случай, что объясняется, помимо физиологической несовместимости электрического тока и биологических процессов в организме человека, отсутствием внешних признаков опасности оголенных токоведущих частей или металлических конструкций, случайно оказавшихся под напряжением (отсутствуют свечение, звук, дым и другие устрашающие признаки). Генерируемые сигнализаторами напряжения тревожные сигналы предупреждают человека, «озвучивают» для него опасность, исходящую от находящегося под напряжением оборудования, что способствует повышению внимания, ведет к более взвешенным действиям.

Начавшееся в последние годы широкое применение на эксплуатируемых энергопредприятиях новых, более совершенных указателей напряжения и сигнализаторов напряжения способствовало в существенной степени снижению электротравматизма, в том числе и смертельного. Помимо высоких технических характеристик новые УН и СН должны быть надежны, просты и удобны в эксплуатации, иметь малую массу, привлекательный внешний вид. Для достижения этих целей необходимо использовать новую элементную базу, схемные решения, применять самые совершенные технологии изготовления.

Контроль отсутствия напряжения на проводах воздушных линиях электропередачи (ВЛ) можно осуществлять с помощью индивидуальных сигнализаторов напряжения (СН), располагаемых на спецодежде. Они подают

сигнал в случае внезапного появления напряжения на отключенных участках ВЛ. Различные конструкции сигнализаторов напряжения такого типа разработаны для крепления на каске, в нагрудном кармане, на запястье руки и т.д., они должны находиться во включенном состоянии все время работы. В зависимости от применения сигнализаторы напряжения можно разделить на сигнализаторы напряжения ручные (СНР), предназначенные для определения наличия напряжения без подъема на опору, и на сигнализаторы напряжения касочные (СНК), предназначенные для сигнализации о приближении к источнику опасного напряжения (провод ВЛ) на расстояние менее допустимого [30].

Основное назначение СНР - кратковременное тестирование наличия напряжения непосредственно с земли. Высокая чувствительность, большие потребления не позволяют использовать СНР для постоянного контроля, поэтому для этих целей применяются СНК.

Анализ существующих конструкций выявил ряд недостатков, снижающих надежность срабатывания и удобство эксплуатации сигнализаторов напряжения. Так, различные требования к емкости и габаритам источника питания (вызванные различием в условиях эксплуатации СН) приводят к использованию разных элементов. В СНК размеры источника питания играют существенную роль (обычно применяются миниатюрные дорогостоящие химические источники тока), в то время как в СНР нет подобных ограничений. Попытки использовать нехимические источники тока (тем самым продлить срок эксплуатации без обслуживания), такие как солнечная батарея и динамо-машина («Пион-2001», рисунок 5) снижают удобство и надежность эксплуатации. Применение аккумуляторов и конденсаторов увеличивает риск использования прибора с разряженным источником питания [61].



а



б



в

а – применение СНИ для тестирования наличия напряжения в ВЛ;
б – СНИ «ИВА-Н» производства НПЦ «Электробезопасность»;
в – «ПИОН - 2001» производства ЗАО «Техношанс»

Рисунок 5 – Сигнализаторы

СНИ, предназначенные для использования в руке (рисунок 5а), обладают высокой чувствительностью и позволяют определять наличие напряжения на проводах ВЛ с земли без подъема на опору. В момент измерения СНИ должен находиться в руке выше головы. Одно из достоинств СНИ, по сравнению с СНК, заключается в том, что в них можно использовать более дешевые и доступные гальванические элементы питания («ИВА-Н», рисунок 5б) или другие источники, например динамо-машину («ПИОН-2001»).

Прибор «ИВА-Н» [31] предназначен для оценки напряженности электрического поля (ЭП) промышленной частоты и индикации допустимого времени пребывания в таком поле ремонтного и обслуживающего персонала, производящего работы в зоне сильных электрических полей, а также для лиц инженерно-технического состава, осуществляющих регламентацию различных видов работ в зоне ЛЭП сверхвысокого напряжения.

Прибор «ИВА-Н» измеряет напряженность электрического поля в диапазоне от 5 до 30 кВ/м, он имеет светодиодную линейку (11 сегментов), шкалу напряженности электрического поля и шкалу допустимого времени пребывания персонала в электрическом поле. Прибор оснащен системами световой и звуковой сигнализации, а также устройством контроля работоспособности.

Питание прибора - автономное, от двух элементов R6 - AA-UM3 (А316). Прибор имеет систему контроля работоспособности. Габаритные размеры прибора 130x52x22 мм, масса - 120 г. Прибор комплектуется измерительной штангой для обеспечения необходимого, при определении допустимого времени пребывания персонала в ЭП, расстояния между телом оператора и прибором. В корпусе прибора имеется гнездо для крепления измерительной штанги.

Работа прибора «ИВА-Н» основана на электростатической индукции заряда, пропорционального напряженности внешнего ЭП, в измерительном преобразователе емкостного типа, выполненном в виде металлической

пластины, усилении и индикации измеренного значения с помощью светодиодной линейки.

Прибор состоит из пяти основных блоков (рисунок 6): измерительного усилителя (ИУ), выпрямителя (В) амплитудного значения сигнала, преобразовательного устройства (ПУ), компаратора (К) и генератора звуковых импульсов (ГЗИ).

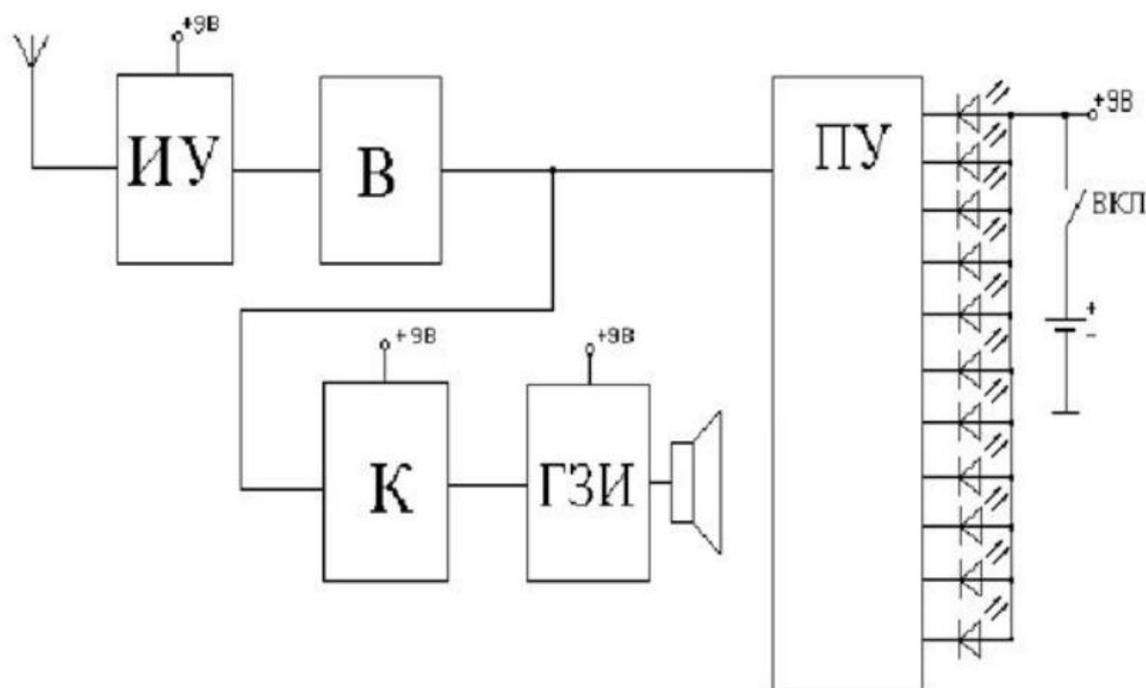


Рисунок 6 – Структурная схема прибора «ИВА-Н»

Индукцируемый заряд формируется при помощи преобразователя, выполненного в виде металлической пластины. Блок ИУ имеет переменный коэффициент усиления, регулируемый при настройке прибора. Усиленный сигнал подается на выпрямитель амплитудного значения. Преобразователь уровня (ПУ) зажигает один из 1 светодиодов при поступлении на его вход соответствующего постоянного напряжения с выпрямителя. Сигнал с выпрямителя подается также на компаратор (К), который при определенном уровне включает генератор звуковых импульсов. ГЗИ работает на пьезоизлучающую головку, генерируя прерывистый звуковой сигнал частотой 1 кГц.

Модификация прибора имеет два диапазона: помимо вышеописанного еще диапазон с высокой чувствительностью, измеряющий напряженность ЭП от 0,5 до 5 кВ/м. Переход в соответствующий измеряемому режим осуществляется автоматически. На лицевой панели два круглых светодиода указывают, в каком диапазоне работает прибор.

Наличие второго диапазона позволяет использовать прибор для определения наличия напряжения на проводах, розетках, распределительных коробках, для поиска трассы скрытой проводки напряжением 127 В и выше в производственных и жилых помещениях, для проверки заземления работающего оборудования.

Бесконтактный сигнализатор напряжения «ИВА-Н» позволяет измерять напряженность электромагнитного поля от 0,5 кВ/м, можно использовать для контроля соблюдения предельно допустимых уровней ЭП промышленной частоты внутри жилых помещений и на территории зоны жилой застройки, установленных действующими санитарными нормами.

Сигнализатор также позволяет оперативно определить исправность защитного заземления электрооборудования. При приближении к незаземленному корпусу включенной установки, он срабатывает на расстоянии больше, чем при приближении к отдельному проводу. Если же заземление исправно, то сигнализатор на расстоянии 10-15 мм от корпуса будет оставаться в дежурном режиме.

Зависимость показаний сигнализатора от положения его по отношению к источнику электрического поля, позволяет по максимальному числу горящих светодиодов определять расположение находящегося под напряжением провода, в том числе и скрытой проводки 220 В.

Сигнализаторы – указатели напряжения бесконтактные.

Указатели напряжения бесконтактные (УНБ) для ВЛ напряжением свыше 1000В по принципу действия похожи на сигнализаторы напряжения, но отличаются меньшей чувствительностью.

Расстояние срабатывания бесконтактного указателя напряжения составляет несколько сантиметров, поэтому для обеспечения возможности проверки наличия напряжения они крепятся на изоляционной штанге. Так как нет необходимости непосредственного контакта с проводом, то упрощается позиционирование УНБ, но снижается достоверность тестирования на наличие напряжения. Отсутствие непосредственного контакта не позволяет создать указатели источника питания в рабочей части, что усложняет и удорожает конструкцию. Наличие источника питания вынуждает устанавливать переключатель питания, снижающий надежность работы. Некоторые производители решают эту проблему автоматическим включением при установке рабочей части УВНБУ-6-220 кВ на штангу [62].

Бесконтактные указатели напряжения изготавливаются в металлическом или пластмассовом корпусе. Оба варианта допускают непосредственный контакт с проводом. УНБ в металлическом корпусе не обладают направленностью срабатывания, что позволяет располагать их относительно провода произвольно. В то же время есть бесконтактные указатели напряжения с ярко выраженной направленностью срабатывания.

Вследствие схожести принципа действия и предназначения бесконтактные указатели напряжения можно классифицировать как сигнализатор напряжения.

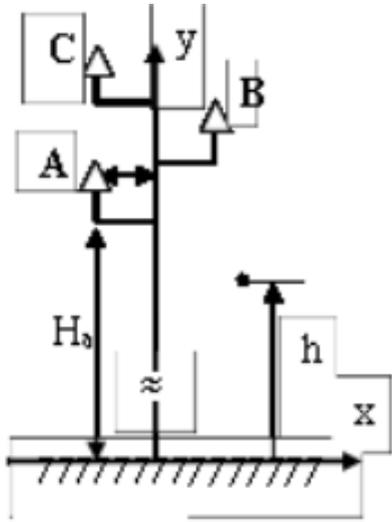
По выведенным на базе теории электромагнитного поля формулам проведены расчеты напряженности электрического поля возле проводов трехпроводных ВЛ [29].

Вычисления проводились в двух случаях: в первом случае опора считалась деревянной, неискажающей картины поля, и вычисления проводились для трехпроводной линии; во втором случае для упрощенного учета влияния металлической или железобетонной опоры, вводилась дополнительная проводящая поверхность, перпендикулярная плоскости земли.

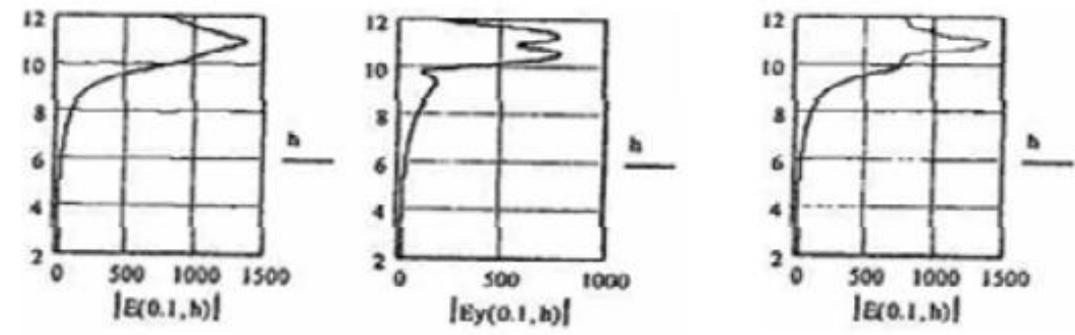
Расчеты проводились для трех распространенных вариантов крепления проводов ВЛ 110кВ на опоре, а также для провода, расположенного вблизи проводящей поверхности. Проведен анализ изменения напряженности, ее вертикальной и горизонтальной проекций.

Учет влияния земли и дополнительной проводящей поверхности проводился с помощью метода зеркальных изображений. Заряды реальных и фиктивных проводов учитывались в комплексной форме. Результирующее значение E определялось посредством разложения каждого вектора на вертикальную и горизонтальную проекции. Модуль вектора напряженности электрического поля в произвольной точке под трехфазной ВЛ:

$$|E| = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}.$$



a



б

а - схематичный вид опоры с вертикальным расположением проводов в один ярус;

б - зависимость действующих значений напряженности E (В/м) электрического поля и её проекций от высоты h (м). Габариты линии (м): $H_A = 10$, $H_B = 10,9$, $H_C = 11,8$, $d_A = -0,5$, $d_B = 0,5$, $d_C = -0,5$, радиус провода $r = 0,006$.

Рисунок 7 – Графики изменения напряженности электрического поля

На рисунке 7 представлены графики изменения напряженности электрического поля E и её проекций E_x , E_y в зависимости от высоты h при боковом смещении от оси опоры $x = 0,1$ м под проводами ВЛ 10 кВ расположенными вертикально.

Анализ результатов расчетов позволяет сделать следующие выводы:

1. Изменение соотношения вертикальной проекции к модулю вектора напряженности E_y/E объясняется тем, что вектор E с ростом высоты h поворачивается в пространстве. На высоте 1,8 м (на этой высоте проверяют наличие напряжения на проводах ВЛ) от земли направление вектора E близко к вертикальному. Выше 10 м (выбранное расстояние от земли до нижнего провода) проекция E_y меняет знак; по этой причине значение E_y для всех типов расположения проводов в зоне непосредственно под нижним проводом ниже максимума, который находится при меньшей высоте h .

2. Значение E на высоте 1,8 м составляет 2-3 % от значения E на высоте 9,4 м (предельно допустимая высота подъема человека при расстоянии до нижнего провода 10 м).

3. Значение E зависит при постоянной высоте h от бокового смещения x . По мере приближения к проводам изменения E и E_y от x все более существенны.

4. Для различных типов расположения проводов значение E и E_y при одинаковых h и боковых смещениях различны.

5. Присутствие вблизи проводов заземленных проводящих предметов, вблизи земли при этом уменьшается.

Представленные данные и результаты их анализа следует учитывать при определении области применения сигнализаторов напряжения, уровня чувствительности, разработке конструкции антенны и т.д. В частности, полученные результаты показывают, что антенны сигнализаторов напряжения, предназначенных для определения напряженности с земли могут воспринимать одну вертикальную составляющую E_y в то время как антенны касочных СН обязаны измерять модуль вектора напряженности E .

СНИ, предназначенные для крепления на одежде, менее чувствительны, чем ручные.

В данных сигнализаторах антенна электрического поля расположена параллельно телу человека.

Большинство современных индивидуальных сигнализаторов напряжения имеют системы визуальной и акустической сигнализации, устройства контроля работоспособности.

Следует отметить, что сигнализаторы напряжения позволяют также проверять исправность защитного заземления у включенного электрооборудования, правильность установки выключателей освещения, определять расположение скрытой проводки, находящейся под напряжением 220 В.

Схожесть принципов действия ручных и касочных сигнализаторов напряжения толкает разработчиков к созданию универсального прибора с возможностью крепления, как на каске, так и на спецодежде, позволяющего определять наличие напряжения на проводах ВЛ с различным рабочим напряжением. Возникающие трудности, связанные с необходимостью обеспечить различную чувствительность, решают с помощью механических переключателей диапазонов работы. Введение переключателя снижает надежность работы и увеличивает риск неправильного использования сигнализатора напряжения, вызванного ошибочным выбором рабочего диапазона [27].

В таблице 3 представлены различные виды сигнализаторов напряжения, с указанием основных характеристик.

Таблица 3 – Сравнительная характеристика сигнализаторов

Наименование сигнализатора	Внешний вид	Масса, г	Габаритные размеры, мм	Дистанция срабатывания, не менее, м	Рабочий диапазон температур, °С	Уровень звукового сигнала, не менее, дБ	Ресурс элемента питания, год	Ток потребления, мА	
								Ждуши й режим	Рабочий режим
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<p>Индивидуальный сигнализатор опасного напряжения микроконтроллерный</p> <p>Модель: ИСОН (ИСОН-М) ООО «КЭнерго Тулс» г. Воронеж</p>		70	34x25x132	8	-25 – +45	70	3	0,02	5
<p>Сигнализатор напряжения касочный</p> <p>Модель: СНК-110 ООО «КЭнерго Тулс» г. Воронеж</p>		30	50x50x32	2	-25 – +40	70	3	0,01	1,2

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<p>Сигнализатор напряжения индивидуальный СНИН 35-110 ООО «ЭлКомПрибор» г. Санкт-Петербург</p>		60	100x42x26	2	-30 – +45	70	1	0,01	1,5
<p>Сигнализатор напряжения индивидуальный СНИ 6-110 Компания «Элиз» г. Череповец</p>		80	62x45x35	1	-45 – +45	70	1	0,004	4
<p>Сигнализатор напряжения индивидуальный модернизированный СНИ-6-110-У2 "Кристалл-М" ООО «ЭнергоСигнал» г. Люберцы</p>		40	60x40x25	2	-30 – +40	70	3	0,01	1,5

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<p>Сигнализатор напряжения касочный СНИН-К ООО «ЭлКомПрибор» г. Санкт-Петербург</p>		45	65x45x20	2	-25 – +45	70	1	0,01	1,2
<p>Бесконтактный сигнализатор опасного напряжения ПИОН- 2001 ЗАО «Техношанс» г. Минск Белоруссия</p>		25	136x60x45	3	-25 – +40	70	---	0,01	1,2
<p>Сигнализатор напряжения индивидуальный касочный "Радиус" ООО «Электробезопасность- Вятка» г. Киров</p>		75	295x240x12,5	2	-30 – +45	70	2	0,003	3

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<p>Сигнализатор напряжения "ИВА-Н" ООО «Электробезопасность- Вятка» г. Киров</p>		120	130x52x22	3	-20 – +40	70	1	0,02	5
<p>Сигнализатор напряжения бесконтактный индивидуальный СНБИ 6-110 кВ ООО «Электроприбор» г. Краснодар</p>		75	95x40x48	2	-30 – +40	70	5	0,01	1,2

3 Разработка рекомендаций по выбору сигнализатора напряжения при работе на ВЛ

3.1 Применение качественного анализа

3.1.1 Принципы построения диаграмм типа дерева

Важным достоинством моделирования происшествий с помощью диаграмм типа дерево является возможность обстоятельного и системного анализа интерпретируемых им процессов. Вот почему после построения деревьев происшествия и его исходов обычно приступают к проверке их адекватности исследуемым опасным процессам, в том числе и путем качественного и количественного анализа полученных моделей.

Начинают такой анализ с оценки правильности определения всех событий рассматриваемых моделей (каждой предпосылки дерева происшествия и каждого исхода дерева событий). Прежде всего, проверяют наличие таких наиболее существенных признаков, таких как родовая принадлежность, например «гибель, увечье, временная потеря трудоспособности человека» - для различных исходов несчастного случая - или «отказ, ошибка, нерасчетное внешнее воздействие» - для предпосылок к нему; либо межвидовые отличия внутри рода - соответственно «по причине удара или захвата человека движущими частями, ингаляции или адсорбции вредного вещества, и «вследствие износа, усталости, стихийного бедствия».

В наименовании всех предпосылок и исходов каждой рассматриваемой модели необходимо избегать использования неясных слов и так называемых ошибок типа «круг в определении», т. е. попыток выразить содержание определяемых понятий через самих себя (например, «потребность - это то, в чем нуждаешься, а нужда то, что требуется»). И наконец, для выявления причинно - следственных связей между событиями диаграмм типа дерево, руководствуются принятыми в формальной логике методами: единственного сходства, единственного различия и их комбинацией, а также методами остатков и сопутствующих изменений.

Рассмотрим процедуру построения дерева событий [9]. При этом будем руководствоваться следующими соображениями:

Во-первых, данная модель должна состоять из одного головного события и в общем случае множестве предшествующих ему предпосылок. К ним отнесем аварии электроустановки, отказы средств электрозащиты, ошибки и неправильные действия оператора или персонала, физиологическое состояние человека, неблагоприятные для него внешние воздействия.

Во-вторых, в состав этого дерева будем включать все те логически условные и безусловные связи между такими предпосылками, соблюдение которых необходимо и достаточно для возникновения исходов, т.е. построения дерева исходов.

В-третьих, построение конечной системы событий (дерева исходов) будем начинать не снизу вверх (т.е. от исходных ошибок, отказов и опасных внешних воздействий – к головному событию-электротравме), а наоборот. При этом само головное событие, соответствующие ему предпосылки верхнего и последующих уровней, а также образованные ими причинные связи необходимо выявлять дедуктивно – на основе знания общих закономерностей возникновения техногенных происшествий и особенностей их проявления в конкретных обстоятельствах.

Качественный анализ событий сводится к выявлению закономерностей возникновения и снижения ущерба от техногенного происшествия, т.е. в выявлении в соответствующем дереве (ДС и ДИ), тех предпосылок и их логических цепочек, реализация которых приводит к появлению либо к не появлению его головного события.

Процедура качественного анализа сводится к следующему:

При формировании дерева исходов установим минимальное сочетание предпосылок, под которыми будем понимать минимально необходимое и достаточное для достижения конкретного результата их множества. Учитывая, что в конечном итоге результат можно интерпретировать как возникновение или как предупреждение конкретного события, поэтому процесс возникновения

техногенного происшествия можно рассматривать как сочетание двух факторов:

а) минимальное проходное сочетание (МПС), включающее в себя наименьшее число тех исходных предпосылок дерева исходов, одновременное появление которых достаточно для прохождения сигнала (информации) от них до главного события;

б) минимальное отсечное сочетание (МОС) формирует условия, препятствующие появлению головного события. Это сочетание состоит из исходных событий рассматриваемого дерева, гарантирующих отсутствие происшествия при условии не возникновения одновременно всех входящих в него событий – предпосылок.

Для иллюстрации качественного анализа моделируемого техногенного процесса воспользуемся составлением деревьев событий и исходов. На рисунке 8 показаны условия возможного поражения человека электрическим током. Предполагается, что головное для этой модели событие X явилось результатом одновременного наложения шести предпосылок верхнего уровня, учитывающих:

- а) производственные связи человека с электроустановкой - (I);
- б) состояние среды в системе (Ч-Э-С) – (II);
- в) систему электрической защиты – (III);
- г) аварийное состояние электроустановки – (IV);
- д) основные пути попадания человека под напряжение – (V);
- е) исходы электротравмы – (VI).

Предпосылка I, отражающая взаимосвязи в подсистеме «человек – электроустановка», явилась следствием одного из четырех событий: А – эксплуатация стационарной электроустановки; В – обслуживание переносных и передвижных электроприемников; С – ремонт и обслуживание линий электропередач; D - ремонт и профилактика электроустановок, в том числе электропроводок.

Предпосылка II характеризует состояние среды в системе (Ч-Э-С). В соответствии с принятой классификацией будем считать: событие E – эксплуатация электроустановок без повышенной опасности; событие F – отражает обслуживание электроустановок в помещении с повышенной опасностью, а события G и H – эксплуатация электроустановок в особо опасных помещениях и вне их соответственно.

Предпосылка III отражает функционирование системы электрической защиты: событие K – отсутствие необходимых средств защиты; событие L – отказ (неисправность) защитных средств; событие M – нормальное функционирование защиты.

Предпосылка IV – отражает виды аварийных состояний электроустановки. Здесь ограничимся рассмотрением трех наиболее типичных аварий: событие N – замыкание на землю; событие P – замыкание на корпус; событие S – занос электрического потенциала по цепям зануления с других объектов.

Предпосылка V – характеризует пути попадания человека под напряжение (ТС): событие T – прикосновение к металлическим частям электроустановки, оказавшихся под напряжением; событие U – прикосновение к токоведущим частям, находящихся под напряжением.

Предпосылка VI – отражает исходы электротравмы. Здесь рассматриваем событие V, представляющее совокупность следующих факторов: сопротивление тела человека Z_h , сопротивление обуви $R_{об}$ и сопротивление растекания $R_{раст.}$. Событие W обусловлено имманентными свойствами организма человека, попавшего в цепь тока, и определяющее тяжесть электротравмы. В этой связи событие W будем рассматривать как вероятность электротравмы в j-ой электроустановки, представляющая произведение вероятностей двух событий: попадание человека в травмоопасную ситуацию и такого его состояния, при котором ток через тело человека I_h (при заданной длительности его протекания t_h) является поражающим, т.е. $P(ЭП)_{ij} = p_{ij} \cdot P_{порj}$. Здесь p_{ij} - вероятность попадания под напряжение i-го человека в j-ой

электроустановке, $P_{\text{пор}j}$ - условная вероятность электропоражения в j -ой электроустановке.

Заметим, что данная модель имитирует тяжесть и исход электротравмы в системе (Ч-Э-С) при допущении, что каждая предпосылка выражается некоторой совокупностью несовместных событий. В действительности (что подтверждается и в данной модели) одно дерево события может иметь несколько минимальных сочетаний предпосылок, необходимых и достаточных для реализации или недопущения его головного события. Среди них могут быть минимальное проходное сочетание и минимальное отсечное сочетание, состоящих из трех и более исходных событий. Это дает возможность при моделировании рассмотреть многообразие всевозможных сочетаний МПС и МОС и выбрать предпочтительные варианты.

Рассмотренная диаграмма причинно-следственных связей, имеющая ветвящуюся структуру, является сочетанием деревьев событий и исходов. Семантическая модель типа дерева, с помощью которого проводится качественный анализ, включает одно главное событие, которое соединяется с помощью конкретных логических условий с промежуточными или исходными предпосылками, обусловленными в совокупности его появление. Главным событием такого дерева может быть авария, пожар или несчастный случай, а его «ветвями» служат наборы соответствующих предпосылок, образующих их причинные цепи. Листьями же дерева событий служат исходные события – предпосылки (ошибки, отказы, дефекты и неблагоприятные внешние воздействия).

Как показывает опыт моделирования, использование алгоритма построения и проведения качественного анализа исследуемых здесь деревьев событий и исходов дает определенную степень гарантии адекватности реальным моделируемым опасным процессам, протекающим в электроустановках и установление на качественном уровне закономерностей проявления и предупреждения несчастных случаев, аварий и пожаров. Это в

свою очередь обеспечивает точность количественной оценки эффективности мер по снижению риска и требуемую достоверность его прогноза.

3.1.2 Количественный анализ диаграмм типа дерево

Следующим этапом моделирования опасных ситуаций в электроустановках является априорная оценка их числовых параметров [24]. Как правило, она связана с определением вероятности появления конкретных несчастных случаев, аварий и т.д., в том числе и математического ожидания их количества на заданном интервале времени. Здесь же рассчитываются размеры ущерба и затрат, связанных с возникновением и предупреждением опасных ситуаций в электроустановках.

Поскольку конечная цель рассматриваемого моделирования направлена не на оценку, а на системный синтез требуемой безопасности, то результаты количественного анализа исследуемых нами процессов нужны в первую очередь для обоснования соответствующих мероприятий. Вот почему при их выборе должны использоваться данные качественного анализа полученных ранее моделей, прежде всего выявленные там минимальные сочетания исходных предпосылок дерева происшествия и оценки их значимости или критичности.

Дело в том, что устранение причинных цепей, состоящих из наиболее значимых предпосылок, является самым эффективным способом обеспечения заданного уровня безопасности.

Однако в ряде случаев отдельный интерес может представлять и автономная предварительная оценка числовых характеристик, как головного события дерева происшествия, так и центрального события дерева его исходов. Например, если нужно отдать предпочтение или принять обоснованное решение о соответствии техногенного риска вновь созданного производственного процесса тому его значению, которое предъявлено техническим заданием.

Рассмотрим применение методики оценки риска возникающего при проведении работ по ремонту и обслуживанию линий ВЛ 110 кВ (таблица 4).

Разделим вероятности, находящиеся в левой колонке на несовместимые группы, учитывая, что общей причиной первых трех опасностей является наличие открытых токоведущих частей. Причина четвертой опасности – повреждение изоляции фазного провода. Два головных события приведены в правой колонке таблицы 4.

Таблица 4 – Определение травмоопасных ситуаций дерева событий

Потенциальные опасности	Вероятность, %	Головные события	Вероятность, %
1	2	3	4
Двухфазное прикосновение	2,0	Прикосновение к токоведущим частям	22,4
Однофазное прикосновение между фазным и нулевым проводом	8,2		
Однофазное прикосновение между фазным проводом и землей	12,2		
Прикосновение к проводу	77,6	Прикосновение проводу, оказавшемуся под напряжением	77,6

Руководствуясь изложенным выше подходом (рисунок 8), рассмотрим головное событие «Электротравма при прикосновении к линии электропередач, находящейся под напряжением» [39].

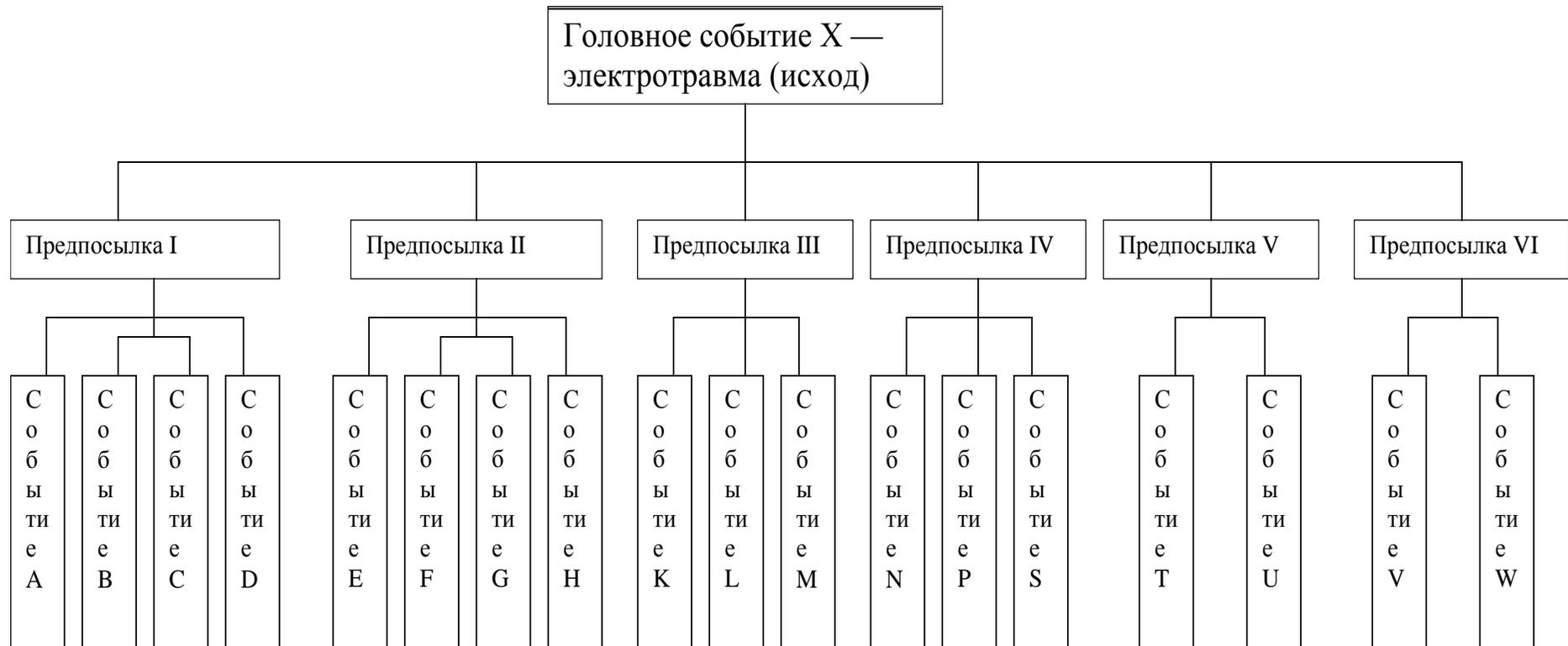


Рисунок 8 – Деревья событий и исходов

Выполним следующие процедуры:

а) определим все предпосылки и элементарные события, которые могут вызвать головное событие;

б) рассмотрим отношения между событиями с помощью логических операций И или ИЛИ;

в) проведем количественный анализ диаграмм типа дерево.

Головное событие А (рисунок 9) произойдет, если будут иметь место все четыре события Б, В, Г и Д, представленные входами логической операции И. Наличие напряжения на линии электропередач (событие Б) возможно, если имевшее место замыкание токоведущих частей (событие Е) не было устранено перед проведением работ (событие Ж).

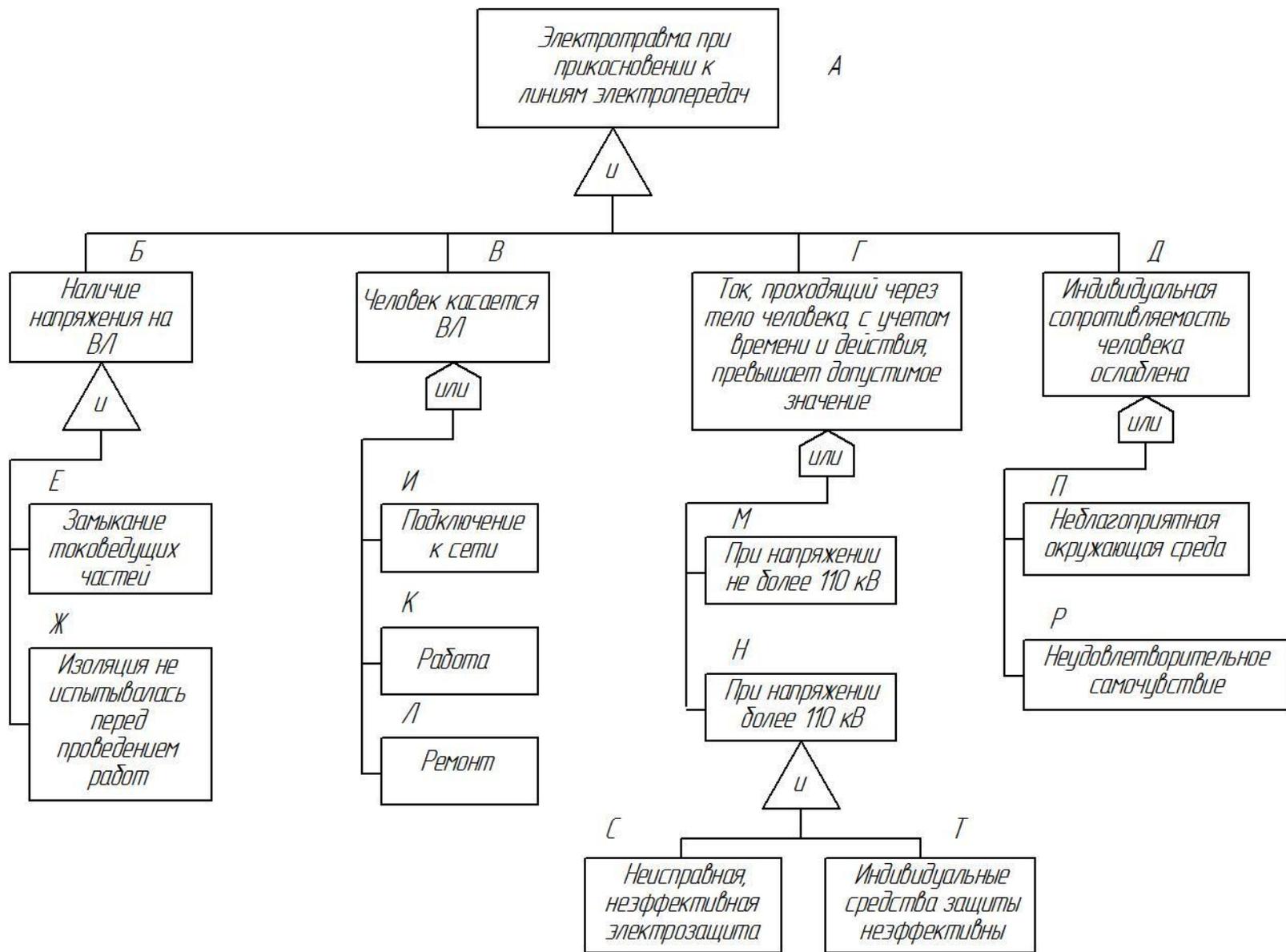


Рисунок 9 – Деревья событий и исходов (частный случай)

Касание человеком корпуса линии электропередач (событие В) возможно при любом из событий И, К и Л, которые представлены входами логической операции ИЛИ.

Ток, проходящий через тело человека, может превысить допустимое значение (событие Г) как при источнике напряжением не более 110 В (событие М), так и при источнике напряжением более 110 В (событие Н) при неэффективных индивидуальных защитных средствах (событие Т) и недейственных средств электрозащиты (событие С).

В порядке иллюстрации изложенного метода анализа диаграмм типа дерево рассмотрим два варианта, направленные на уменьшение вероятности возникновения причин электротравматизма при работах на ВЛ.

Первый вариант предлагаемых мер состоит в предположении о том, что сопротивление изоляции линий будет гарантировано измеряться периодически через 6 месяцев. При выполнении этого условия вероятность использования выполнения работ на поврежденных проводах уменьшится. Однако полностью исключить возможность повреждения во время работы нельзя.

Второй вариант защитных мер состоит в том, что применение сигнализатор напряжения уменьшит вероятность электротравмирования человека при работе на ВЛ за счет подачи звукового сигнала о наличии напряжения.

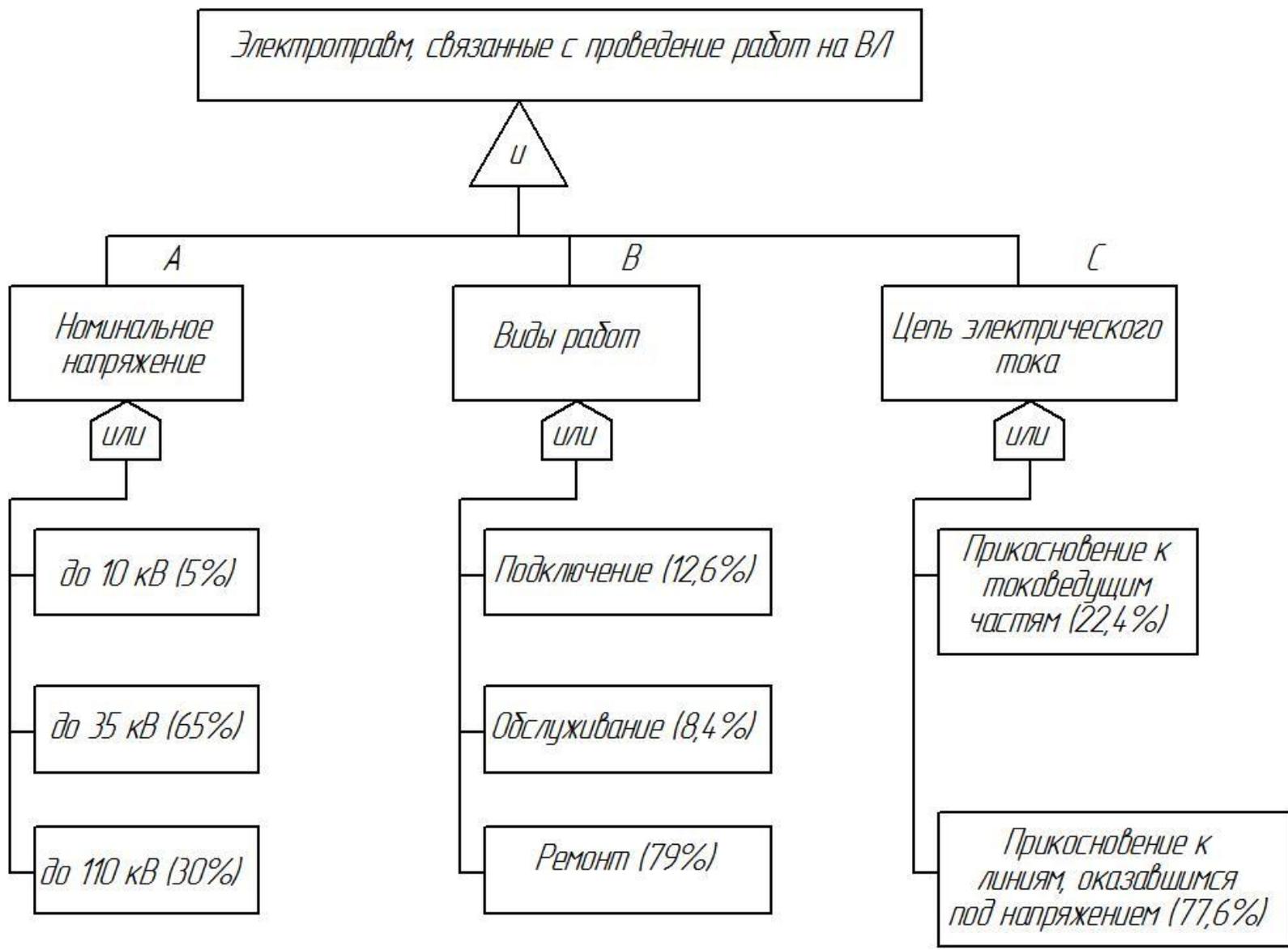


Рисунок 10 – Дерево признаков электротравматизма

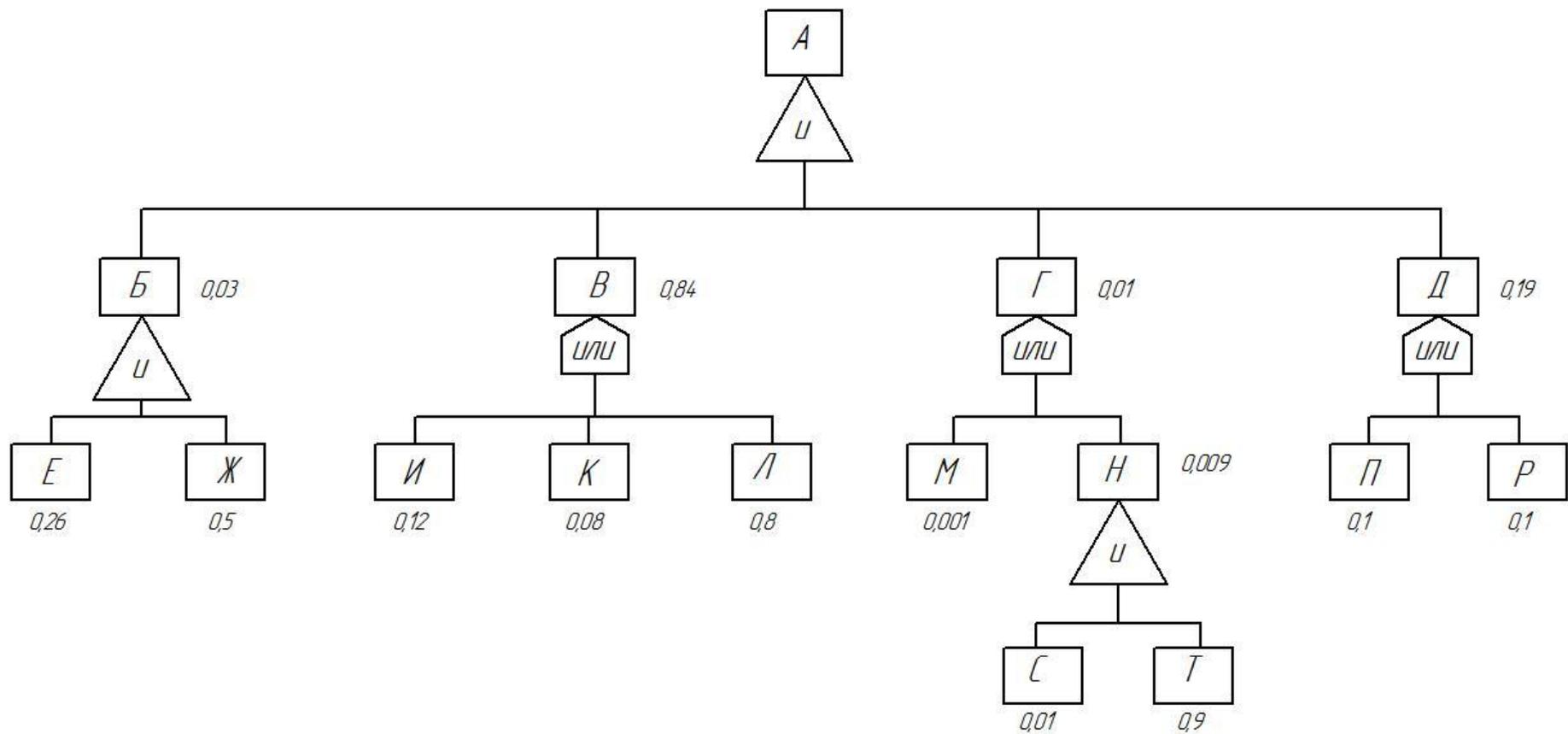


Рисунок 11 – Вероятности деревьев событий и исходов

3.2 Разработка алгоритма выбора сигнализатора напряжения для работы в различных условиях

3.2.1 Требования безопасности при производстве работ на воздушных линиях

1. Производство работ на воздушных линиях во время грозы и при ее приближении запрещается [15].

2. При скорости ветра 12 м/с и выше, снежных буранах, а также при температуре воздуха ниже предельных норм, установленных постановлениями местных органов власти, запрещается выполнять работы на воздушных линиях. Исключение допускается для работ по ликвидации аварий, но при этом работа должна выполняться не менее чем двумя работниками.

При температуре ниже установленной нормы допускаются, как исключение, работы с перерывами для обогрева через определенные промежутки времени. Руководитель работ обязан в непосредственной близости от места работ предоставить работающим средства для обогрева (костры, теплушки, палатки и т. п.).

3. Руководителями работ на особо опасные участки должны быть назначены лица в должности не ниже старшего электромеханика, которые обязаны лично присутствовать на месте работ, руководить работами и обеспечивать строгое выполнение требований правил охраны труда.

4. К работам на особо опасных участках относятся:

а) работы на участках пересечения воздушными линиями железных и шоссейных дорог;

б) устройство, переоборудование и ремонт пересечений воздушных линий с линиями электропередачи любого напряжения, контактными проводами трамваев и троллейбусов, а также с фидерными радиотрансляционными линиями;

в) работы на воздушных линиях связи с цепями дистанционного питания усилительных пунктов;

г) работы на воздушных линиях связи при наличии на них проводов питания устройств СЦБ;

д) подвеска и упразднение проводов на воздушных линиях, подверженных влиянию электрифицированных железных дорог переменного тока;

е) установки и замена опор, упразднение проводов и линий на железнодорожных станциях, в городах и населенных пунктах;

ж) вырубка просек, погрузка и выгрузка столбов с железнодорожных платформ и автомобилей;

з) работы с применением строительных машин на расстоянии менее 30 м от линий электропередачи и высоковольтных линий автоблокировки;

и) устройство мачтовых переходов, замена оконечных, угловых, кабельных и других сложных опор;

к) работы в местах сближений проводов связи с проводами линии электропередачи на участках стесненной трассы;

л) погрузка, перевозка и выгрузка железобетонных опор и приставок ;

м) рытье ям для установки опор вблизи от места прохождения силовых кабелей и газопровода;

н) другие работы, перечень которых установлен в местных инструкциях по технике безопасности на дистанции.

Перед началом работы на особо опасном участке руководитель работ должен провести с работниками инструктаж по безопасным методам труда. Проведение инструктажа должно отмечаться в журнале формы ТНУ-19 с обязательной росписью лиц, получивших инструктаж, и лица, проводившего инструктаж.

5. Перед подъемом на опору необходимо убедиться в ее прочности. Если опора укреплена приставкой, следует также убедиться в надежности крепления ее к приставке; при необходимости опоры должны укрепляться баграми или рогами.

6. Работы на опоре независимо от высоты подъема могут производиться после закрепления на опоре цепью предохранительного пояса и укрепления когтей в устойчивом положении.

Работа на опоре без когтей и предохранительного пояса запрещается. Подниматься на опору и работать на когтях, не прикрепленных прочно к ногам с помощью стяжных ремней и запястников, запрещается.

7. Работы по устройству пересечений линий связи с линиями электропередачи (электросети) напряжением до 1000 В, как правило, производятся после снятия напряжения с линии электропередачи и заземления проводов этой линии на месте работ. Подвешивать провода связи над проводами линии электропередачи с напряжением выше 380 В запрещается.

8. Без снятия напряжения дистанционного питания с цепей, по которым оно передается, и напряжения с проводов СЦБ, подвешенных на воздушных линиях связи, разрешается:

- а) выполнение низовых линейных работ;
- б) очистка проводов связи от осадков изморози и гололеда шестами из изоляционного материала, в том числе деревянными;
- в) устранение повреждений на цепях, расположенных ниже цепей дистанционного питания или цепей питания устройств СЦБ, а также на цепях, расположенных на противоположной по отношению к цепям дистанционного питания стороне траверс. При этом обязательно применение диэлектрических перчаток.

9. Все виды планового ремонта воздушных линий связи с цепями дистанционного питания, а также воздушных линий связи с приводами питания устройств СЦБ без снятия напряжения запрещаются.

10. К линейным работам, требующим снятия напряжений дистанционного питания или питания устройств СЦБ, разрешается приступать только после получения уведомления о снятии напряжения.

11. Перед началом работ на воздушной линии связи после снятия напряжения с проводов, используемых для питания устройств СЦБ или

дистанционного питания, руководитель работ, убедившись в отсутствии напряжения на этих проводах, должен их заземлить и замкнуть накоротко.

Заземление проводов и одновременное замыкание их накоротко осуществляются наложением и закреплением на проводах переносного заземления.

12. Воздушные линии связи на участках электротяги переменного тока считаются высоковольтными воздушными линиями (ВВЛ), если на проводах этих линий вследствие их сближения или пересечения с линиями электрифицированных железных дорог переменного тока постоянно или временно индуцируются напряжения по отношению к земле, опасные для жизни обслуживающего персонала и для включенной в линию аппаратуры.

При ремонте ВВЛ все работы должны производиться по наряду. В наряде на выполнение работ должны быть также указаны мероприятия по технике безопасности (номера цепей, которые следует заземлить, номера опор, на которых должно быть установлено заземление, обеспечение бригады защитными средствами).

12. Работы на опорах ВЛ производятся после заземления всех проводов расположенных с той стороны опоры, на которой находится ремонтируемая цепь; на ВВЛ крюкового профиля должны заземляться все провода. При траверсном профиле провода, расположенные по другую сторону опоры, могут не заземляться.

Прикосновение к незаземленным проводам и ко всем токоведущим предметам, имеющим с ними соединение, запрещается. Работа на заземленных проводах должна производиться инструментом с изолирующими ручками.

13. Все измерения на ВВЛ должны производиться в диэлектрических перчатках и галошах. Измерительные приборы подключаются к проводам ВВЛ с помощью штанги.

14. Все провода недействующих воздушных линий связи на участках электротяги переменного тока должны быть заземлены с соблюдением следующих условий:

а) в пределах каждого перегона провода должны быть заземлены в обоих пунктах, ограничивающих перегон, и, кроме того, в одном месте посередине перегона;

б) в переприемных, оконечных и усилительных пунктах в качестве заземлений могут быть использованы защитные заземления линейно-аппаратных залов, если эти заземления расположены не ближе 25 м от магистральных или других кабелей;

в) соединение стационарного заземления с воздушными проводами должно быть сделано с пропайкой всех контактов;

г) заземление на перегонах может быть осуществлено как при помощи специально устраиваемых заземлителей (норма сопротивления заземления не выше 10 Ом), так и с использованием заземлений силовых опор автоблокировки;

д) заземления недействующих воздушных линий должны быть выполнены до подачи напряжения в контактную сеть или при снятом с контактной сети напряжении.

3.2.2 Требования по применению средств защиты в электроустановках

1. Персонал, проводящий работы в электроустановках, должен быть обеспечен всеми необходимыми средствами защиты, обучен правилам применения и обязан пользоваться ими для обеспечения безопасности работ [9].

Средства защиты должны находиться в качестве инвентарных в помещениях электроустановок или входить в инвентарное имущество выездных бригад. Средства защиты могут также выдаваться для индивидуального пользования [2].

2. При работах следует использовать только средства защиты, имеющие маркировку с указанием завода-изготовителя, наименования или типа изделия и года выпуска, а также штамп об испытании.

3. Перед каждым применением средства защиты персонал обязан проверить его исправность, отсутствие внешних повреждений и загрязнений, а также проверить по штампу срок годности.

Не допускается пользоваться средствами защиты с истекшим сроком годности.

4. При использовании электрoзащитных средств не допускается прикасаться к их рабочей части, а также к изолирующей части за ограничительным кольцом или упором.

5. Конструкция электрoзащитных средств должна предотвращать попадание внутрь пыли и влаги или предусматривать возможность их очистки.

Сигнализаторы наличия напряжения индивидуальные

Назначение, принцип действия и конструкция [25]

1. Сигнализаторы наличия напряжения индивидуальные выпускаются двух типов:

- сигнализаторы автоматические, предназначенные для предупреждения персонала о приближении к токоведущим частям, находящимся под напряжением, на опасное расстояние;

- сигнализаторы неавтоматические, предназначенные для предварительной (ориентировочной) оценки наличия напряжения на токоведущих частях электроустановок при расстояниях между ними и оператором, значительно превышающих безопасные.

Сигнализаторы не предназначены для определения отсутствия напряжения на токоведущих частях электроустановок, для чего могут быть использованы только указатели напряжения.

Сигнал о наличии напряжения - световой и (или) звуковой.

2. Сигнализатор представляет собой малогабаритное высокочувствительное устройство, реагирующее на напряженность электрического поля в данной точке пространства.

3. Работа автоматических сигнализаторов осуществляется независимо от действий персонала. Такие сигнализаторы применяются в качестве

вспомогательного защитного средства при работе на ВЛ 6 - 10 кВ. Они укрепляются на касках, их включение в работу (приведение в готовность) осуществляется автоматически в момент установки на каску, а отключение - при снятии с каски.

Автоматические сигнализаторы предупреждают работающего звуковым сигналом о приближении к проводам ВЛ, находящимся под напряжением, на опасное расстояние менее 2 м. При этом их чувствительность должна быть такова, чтобы они подавали сигналы о наличии напряжения только при приближении оператора к проводам ВЛ (при подъеме на опоры ВЛ) и не подавали сигналов при нахождении оператора на земле.

4. Работа неавтоматических сигнализаторов для предварительной оценки наличия напряжения на токоведущих частях электроустановок при расстояниях между ними и оператором, значительно превышающих безопасные, осуществляется по запросу оператора.

5. Сигнализатор может содержать орган собственного контроля исправности. Контроль может осуществляться нажатием кнопки или быть автоматическим, путем периодической подачи специальных контрольных сигналов. При этом должна быть обеспечена возможность полной проверки исправности электрических цепей сигнализатора.

Эксплуатационные испытания

6. Нормы, методика и периодичность испытаний сигнализаторов приводятся в руководствах по эксплуатации.

Правила пользования

7. Перед началом использования сигнализатора следует убедиться в его исправности. Методика контроля исправности приводится в руководствах по эксплуатации.

8. При использовании сигнализаторов необходимо помнить, что как отсутствие сигнала не является обязательным признаком отсутствия напряжения, так и наличие сигнала не является обязательным признаком наличия напряжения на ВЛ. Однако сигнал о наличии напряжения должен быть

во всех случаях воспринят как сигнал об опасности, хотя он может быть вызван электрическим полем проводов неотключенных ВЛ более высоких классов напряжения, находящихся в зоне работы оператора. Поэтому применение сигнализаторов не отменяет обязательного пользования указателями напряжения.

9. При внезапном появлении сигнала об опасности оператор должен немедленно прекратить работы, покинуть опасную зону (например, спуститься с опоры ВЛ) и не возобновлять работы до выяснения причин появления сигнала.

3.2.3 Климатические зоны

Согласно ГОСТ 15-150-69 «Машины, приборы и другие технические изделия. исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды» все типы климатов земного шара для технических целей, их обозначения и критерии разграничения для климатического районирования (таблица 5).

Таблица 5

Климатические исполнения изделий	Обозначения*		
	буквенные		цифровые
	русские	латинские	
Изделия, предназначенные для эксплуатации на суше, реках, озерах			
Для макроклиматического района с умеренным климатом**	У	(N)	0
Для макроклиматических районов с умеренным и холодным климатом**	УХЛ****	(NF)	1
Для макроклиматического района с влажным тропическим климатом***	ТВ	(TH)	2
Для макроклиматического района с сухим тропическим климатом***	ТС	(TA)	3
Для макроклиматических районов как с сухим, так и с влажным тропическим климатом***	Т	(T)	4
Для всех макроклиматических районов на суше, кроме макроклиматического района с очень холодным климатом (общеклиматическое исполнение)	О	(U)	5
Изделия, предназначенные для эксплуатации в макроклиматических районах с морским климатом			
Для макроклиматического района с умеренно-холодным морским климатом	М	(M)	6
Для макроклиматического района с тропическим морским климатом, в том числе для судов каботажного плавания или иных, предназначенных для плавания только в этом районе	ТМ	(MT)	7
Для макроклиматических районов как с умеренно-холодным, так и тропическим морским климатом, в том числе для судов неограниченного района плавания	ОМ	(MU)	8
Изделия, предназначенные для эксплуатации во всех макроклиматических районах на суше и на море, кроме макроклиматического района с очень холодным климатом (всеклиматическое исполнение)	В	(W)	9

* В скобках приведены обозначения, ранее принятые в технической документации некоторых страна СЭВ.

** Изделия в исполнениях У и УХЛ могут эксплуатироваться в теплом влажном, жарком сухом и очень жарком сухом климатических районах по [ГОСТ 16350](#), в которых средняя из ежегодных абсолютных максимумов температура воздуха выше 40°C и (или) сочетание температуры, равной или выше 20°C, и относительной влажности, равной или выше 80%, наблюдается более 12 ч в сутки за непрерывный период более двух месяцев в году.

Конкретные типы или группы экспортируемых или других изделий для макроклиматического подрайона с теплым умеренным климатом допускается изготавливать в климатическом исполнении ТУ, если технико-экономически обоснованы конструктивные отличия изделий этого исполнения от изделий климатического исполнения У.

*** Указанные исполнения могут быть обозначены термином «тропическое исполнение».

**** Если основным назначением изделий является эксплуатация в районе с холодным климатом и экономически нецелесообразно их использование вне пределов этого района, вместо обозначения УХЛ рекомендуется обозначение ХЛ (F).

Критерии установлены по показателям температуры и влажности воздуха (далее - температура и влажность), включая их сочетания, как наиболее представительным для всех технических изделий.

Разграничительные линии на рисунке 11 устанавливают диапазоны значений сочетания «среднегодовая относительная влажность - среднегодовая температура», которое является критерием для разграничения типов климатов и для климатического районирования по воздействию температуры и влажности на технические изделия.

Установлены пять диапазонов указанных сочетаний, представляющих собой классификационные группы, обозначенные номерами от 1 до 5, при этом жесткость воздействия уменьшается с увеличением номера. Линии, отделяющие один диапазон от другого, установлены на основе одинаковости воздействия в течение длительного периода (по крайней мере в течение года) сочетания «относительная влажность - температура» на большинство технических изделий и материалов. Степень уменьшения жесткости воздействия сочетания «среднегодовая относительная влажность - среднегодовая температура», соответствующего одной линии, по отношению к воздействию указанного сочетания, соответствующего соседней линии, составляет 1,6 для одинаковой степени влагозащиты изделий (с 65%-ми доверительными пределами).

Диапазон значений, в котором находится фактическое значение сочетания «среднегодовая относительная влажность - среднегодовая температура» для данного географического пункта, является ограничительным для отнесения данного географического пункта к соответствующему типу климата (в части длительного воздействия атмосферной влажности).

Для использования технических изделий в нескольких географических районах с различными типами климатов последние группируют по типам макроклиматов следующим образом:

- антарктический холодный (АХЛ), ограниченный антарктическим холодным типом климата;

- холодный (ХЛ), объединяющий типы климатов: экстремальный холодный (ЭХл) и холодный (Хл);
- умеренный (У), объединяющий типы климатов: холодный умеренный (ХлУ), теплый умеренный (ТпУ), теплый сухой умеренный (ТпСУ);
- тропический влажный (ТВ), объединяющий типы климатов теплый влажный (ТпВ) и теплый влажный равномерный (ТнВР);
- тропический сухой (ТС), объединяющий типы климатов: мягкий теплый сухой (МгТпС), экстремальный теплый сухой (ЭТпС) и теплый переходный (ТпПр);
- умеренно-холодный морской (М), объединяющий типы климатов: умеренный морской (УМ) и холодный морской (ХлМ);
- тропический морской (ТМ), ограниченный тропическим морским типом климата.

В составе типа умеренного макроклимата выделяют подтип макроклимата теплый умеренный (ТУ), объединяющий типы климатов: теплый умеренный (ТпУ) и теплый сухой умеренный (ТнСУ, WDrT)

3. Для более универсального применения изделий по сравнению с указанным устанавливаются следующие группы макроклиматов:

- умеренно-холодный (УХЛ), объединяющий макроклиматы: умеренный (У) и холодный (ХЛ);
- тропический (Т), объединяющий макроклиматы: тропический влажный (ТВ) и тропический сухой (ТС);
- общемировой (О), объединяющий все типы макроклиматов, кроме антарктического холодного (АХЛ) и морских (М и ТМ);
- общеклиматический морской (ОМ), объединяющий макроклиматы: умеренно-холодный морской (М) и тропический морской (ТМ);
- всеобщий (В), объединяющий все макроклиматы, кроме антарктического холодного (АХЛ).

Значения сочетаний «среднегодовая относительная влажность – среднегодовая температура» (рисунок 11) воздуха для классификационных групп различных типов климатов.

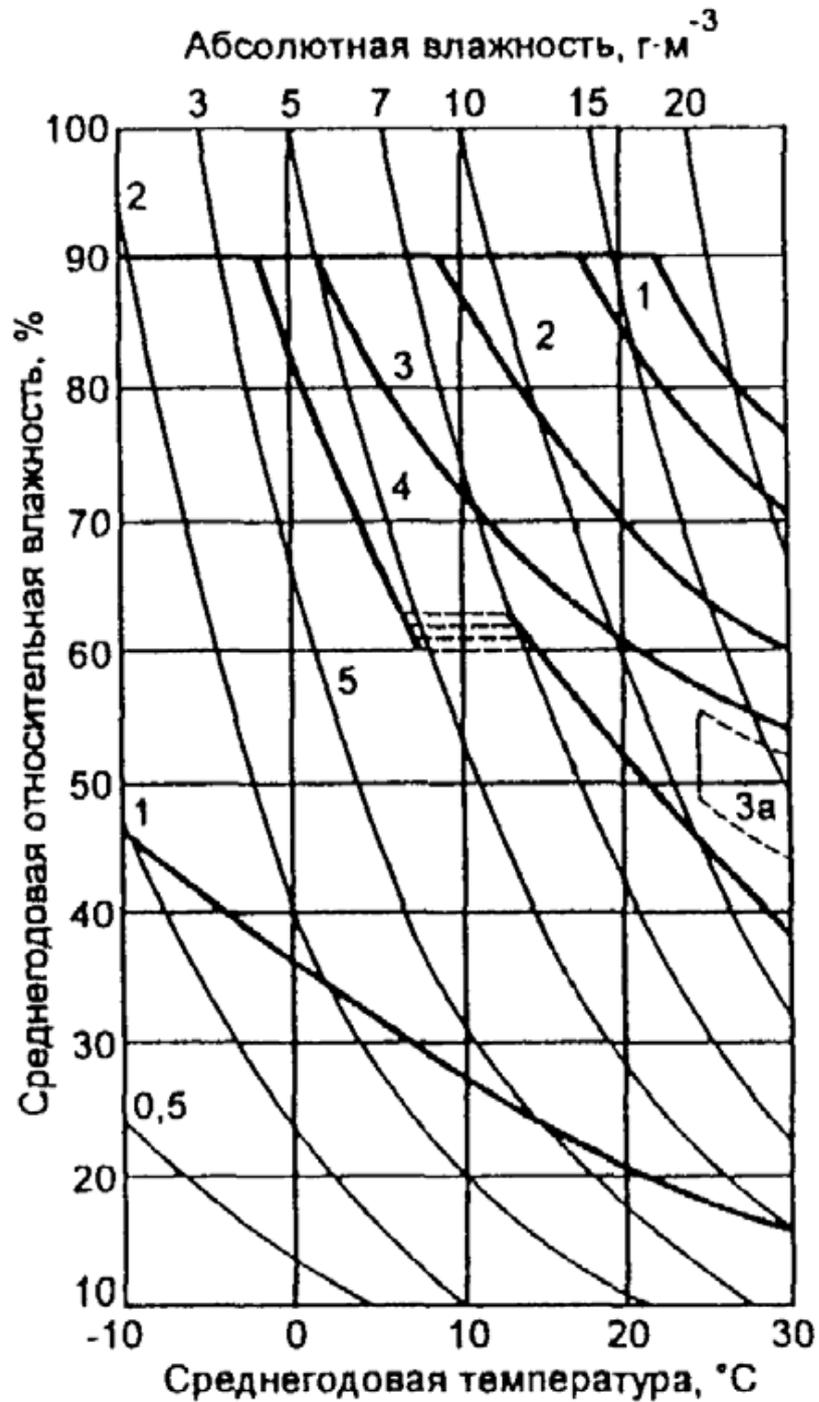


Рисунок 11 – Соотношение среднегодовой относительная влажность
и к среднегодовой температуре

Таблица 6 – Типы климатов земного шара, их обозначения и критерии
разграничения

Тип климата	Обозначение	Среднее значение из ежегодных абсолютных минимумов температуры воздуха, °С	Среднее значение из ежегодных абсолютных максимумов температуры воздуха, °С
1	2	3	4
Антарктический холодный	АХл	Ниже -60	
Экстремальный холодный	ЭХл	Ниже - 50 до - 60 включ.	
Холодный	Хл	Ниже -45 до -50 включ.	
Холодный умеренный	ХЛУ	Ниже -25 до -45 включ.	
Теплый умеренный	ТпУ	-25 и выше	
Теплый сухой умеренный	ТпСУ	Ниже -10 до -25 включ.	40 и ниже
Теплый переходный	ТпПр	-10 и выше	45 и ниже до 40
Мягкий теплый сухой	МгТпС	-10 и выше	45 и ниже до 40

Экстремальный теплый сухой	ЭТпС		Выше 45
Теплый влажный	ТпВ		

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4
Теплый влажный равномерный	ТпВР		
Холодный морской	ХлМ	Ниже -30	
Умеренный морской	УМ	-30 и выше	
Тропический морской	ТМ		

Основные виды работ на территории Российской Федерации на ВЛ выполняются в таких климатических зонах, как ХлУ, ТпУ, ТпСУ, ТпПр.

3.2.4 Алгоритм выбора сигнализатора

На основании таблицы 6 и основных требований к сигнализаторам напряжения составлен алгоритм выбора в зависимости от предъявляемых требований (рисунок 12).

При разработке алгоритма были выбраны такие требования как тип климата, в котором будут проводиться работы, напряжение ВЛ, дистанция срабатывания сигнализатора, расположение сигнализатора при проведении работ, а также ресурс работы сигнализатора без замены элемента питания.

Принцип работы алгоритма выбора сигнализатора.

Для того, чтобы начать работу по алгоритму, необходимо определиться с типом климата, в котором будут производиться работы. Это делается по

таблице 6. После этого выбирается напряжение на линиях электропередачи. В зависимости от производимых работ и расстояния до ВЛ выбирается дистанция срабатывания сигнализатора напряжения. Выбор расположения сигнализатора также основывается на видах работ, которые будут производиться.

И последнее требование к сигнализаторам – ресурс работы без замены питания. Для различных видов сигнализаторов он разный, поэтому данное требование обосновывается на предыдущих, и выбирается наиболее подходящий сигнализатор.

Алгоритм выбора сигнализатора

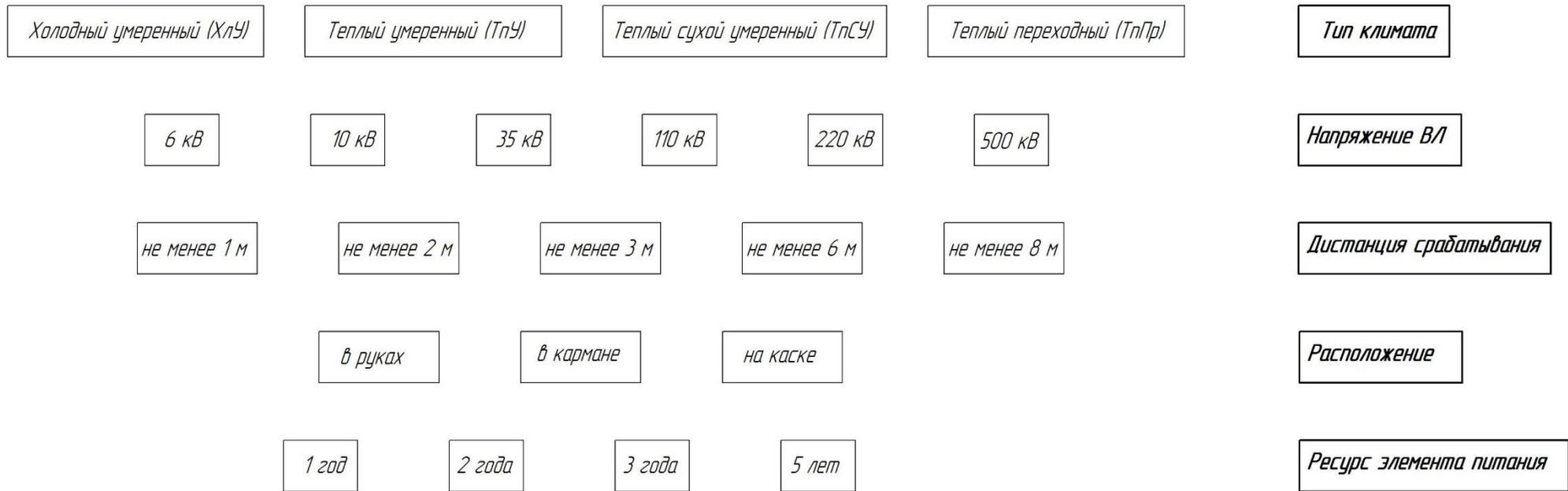


Рисунок 12 – Алгоритм выбора сигнализатора напряжения

3.3 Выбор сигнализатора напряжения

Произведем выбор сигнализатора напряжения для теплого умеренного климата.

Самарская область находится в теплой умеренной климатической зоне. Требуемое напряжение – 110 кВ. Дистанция срабатывания при проведении работ по ремонту и обслуживанию ВЛ согласно требований нормативных документов – не менее 2 м.

Считается, что самым удобным и безопасным местом расположения сигнализатора является крепление его на каске. И минимальный срок службы должен быть 2 года.

Таким образом, проведя анализ всех требований с помощью алгоритма и таблицы 6, можно сделать вывод, что для наших условий подходит касочный сигнализатор типа «Радиус».

Последовательность действий показана на рисунке 13.

Алгоритм выбора сигнализатора

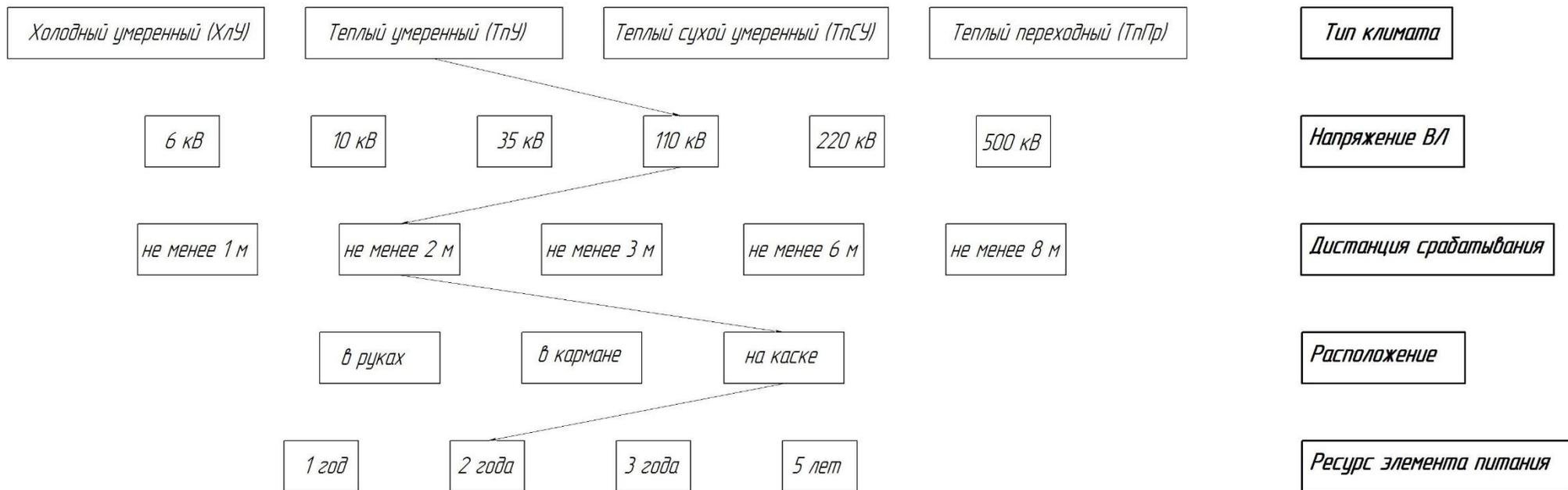


Рисунок 13 – Применение алгоритма

При работе на ВЛ наиболее правильным является крепление СН на каске (рисунок 14), так как в большинстве вариантов расположения работающего электрическое поле имеет максимальную напряженность в зоне над головой человека [28].

Основной недостаток многих касочных сигнализаторов (СНК) заключается в их сравнительно больших габаритах и массе. Размещение такого прибора на каске работника создает значительные неудобства в работе и вызывает утомление шейного отдела позвоночника. Большая масса прибора обычно вызвана использованием элементов питания устаревших типов с малой энергоемкостью и конструкцией датчика электрического поля.

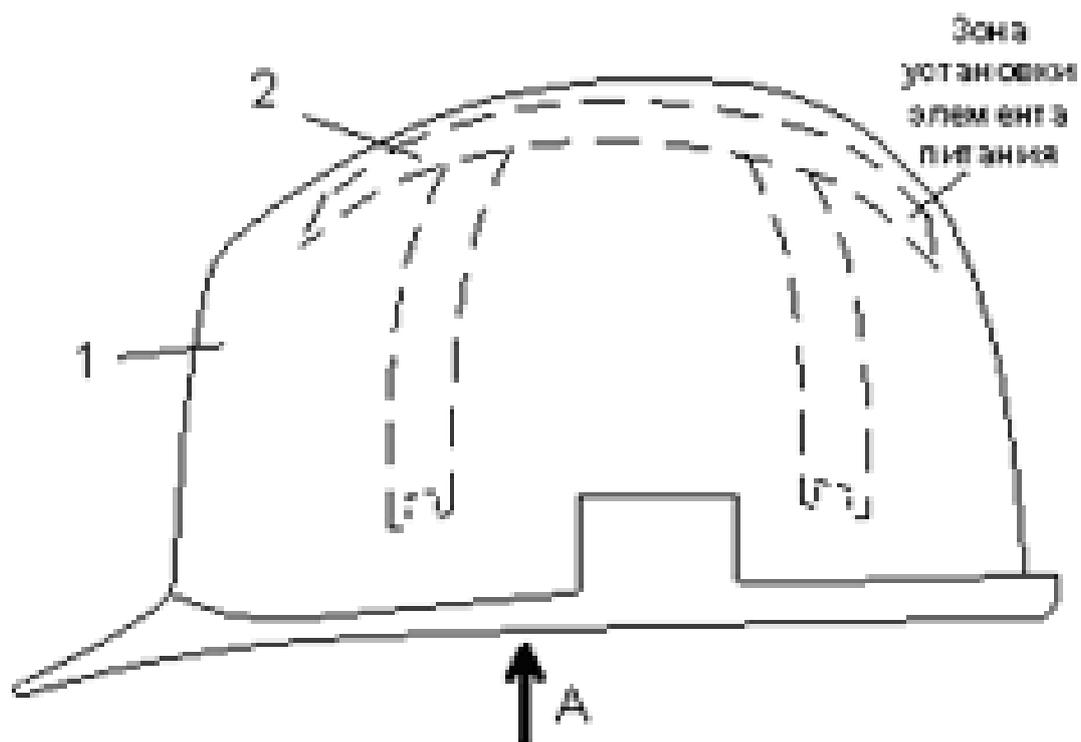


Рисунок 14 – Сигнализатор напряжения касочный

Расположение СНК снаружи на каске опасно из-за возможности зацепов. При снижении размеров сигнализатора и при увеличении надежности крепления данный недостаток практически устраняется.

Другой, не менее важный, недостаток заключается в том, что расположение прибора на каске не обеспечивает защиту его от воздействия атмосферных осадков, солнечной радиации и пыли, что значительно снижает надежность работы, особенно контактных элементов ввиду повышения вероятности их окисления. Проблема может быть частично решена созданием герметичных корпусов с повышенной влагозащитной, как это сделано с СНК «Кристалл» производства «ИНВАРЭЛТРАНС».

Сложность обеспечения бесконтактного автоматического включения прибора вынуждает практически всех разработчиков применять ненадежный механический переключатель. Использование герконов частично решает проблему повышения надежности включения, но при этом появляются проблемы с размещением магнита. Применение бесконтактного переключателя позволяет повысить надежность включения прибора, хотя в этом случае имеют место дополнительные потери электроэнергии, вызванные падением напряжения на электронном ключе, что приводит к снижению работы источника питания.

Попытка создания сигнализаторов с расширенным диапазоном измерений ведет к необходимости использования дополнительных переключателей, что снижает надежность и увеличивает риск, связанный с неправильным выбором рабочего диапазона напряжений.

К недостаткам касочных сигнализаторов можно отнести и то, что звуковой сигнал направлен от оператора, что ухудшает его восприятие при сильном ветре и при отсутствии предметов, от которых звук может хорошо отражаться. Этот факт следует учитывать при оценке действительной эффективности указываемых разработчиками уровней звукового давления излучаемой мощности сигналов опасности. Если также учесть, что чувствительность человеческого уха зависит от частоты сигнала, то сравнивать

по уровню сигналы разной частоты и длительности (в случае прерывистого сигнала) некорректно.

Учитывая все описанные выше недостатки, сформулируем требования к СНК нового поколения:

- касочный СН не должен содержать выключателя питания, переключателя диапазонов, подверженных внешним воздействиям;
- минимально возможные масса и размеры инструкции; масса сигнализатора должна быть намного меньше массы каски;
- центр тяжести каски с сигнализатором не должен быть смещен в сторону;
- звуковая сигнализация должна иметь различимые интонации;
- уровень звукового давления должен быть достаточным для уверенного распознавания на высоком уровне внешних шумов;
- наличие системы автоматической самодиагностики всей цепи без дополнительных органов управления;
- работоспособность (без замены источника питания) в течение всего срока службы каски.

Сочетать малую массу сигнализатора, длительную работу от одного комплекта батарей и большой уровень звукового сигнала крайне сложно. Как вариант решения этой проблемы может быть использовано разделение сигнализатора на два блока, один из которых, миниатюрный расположен внутри каски и осуществляет непосредственно контроль электрического поля, а второй блок индицирует превышение порогового уровня сигнала и управляет работой первого блока. Второй блок может находиться на спецодежде. Связь между блоками должна быть надежной и не создавать неудобств во время работы. Наиболее оптимальной с этой точки зрения является радиосвязь.

В результате проведенных исследований распределения электрического поля вблизи проводов ВЛ и анализа конструкций СНК с учетом сформированных требований разработан касочный сигнализатор «Радиус», состоящий из расположенного внутри каски заподлицо в ребре жесткости

миниатюрного (массой 10 г) блока контроля электрического поля и блока сигнализации, располагаемого в руке или на спецодежде. Блоки связаны с помощью радио, причем блоков сигнализации может быть несколько, что позволяет один из них укрепить, например, в нагрудном кармане работающего человека в каске с блоком контроля, а другой будет находиться у напарника или у наблюдающего.

Помимо основной системы сигнализации о приближении на опасное расстояние к проводам ВЛ (прерывистые световые и звуковые сигналы) касочный сигнализатор напряжения «Радиус» имеет дополнительную систему сигнализации (непрерывный сигнал), включающуюся в случае нарушения радиосвязи блоков или иной неисправности.

Касочные сигнализаторы напряжения срабатывают при приближении к находящимся под напряжением токопроводам в тот момент, когда напряженность контролируемого ими электрического поля превышает установленное пороговое значение. В связи с этим для повышения надежности защиты человека необходимо знать уровень и особенности изменения напряженности электрического поля вблизи проводов ВЛ 6-110 кВ (в первую очередь непосредственно под ними), для этого был разработан расчёт напряжённости электрического поля, создаваемого ВЛ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе представлено новое решение актуальной научно-технической задачи повышения уровня электробезопасности персонала, обслуживающего линии электропередач до 110 кВ, путем разработки и внедрения бесконтактных средств контроля наличия напряжения. Выполненные исследования позволили получить следующие основные результаты и сделать выводы:

1. Разработан алгоритм выбора сигнализатора напряжения, позволяющий обеспечить требования по электробезопасности персонала на стадии выбора средства предупреждения о наличии напряжения на линиях электропередач.

2. Выявлены наиболее значимые факторы, оказывающие существенное влияние на напряженность электрического поля в зоне расположения сигнализатора напряжения: расстояние до проводов ВЛ; вариант расположения проводов; расстояние от человека до оси опоры, положения его рук и др.

3. Систематизированы и оформлены в виде каталога данные по находящимся в эксплуатации сигнализаторов напряжения. Анализ конструкций и условий применения существующих СН позволил выявить основные недостатки и сформулировать.

4. Выбран измерительный комплекс, состоящий из радиосвязанных измерительных и индикаторной частей, позволяющий проводить измерения напряженности электрического поля в месте расположения сигнализатора напряжения с учетом влияния опоры и тела человека.

5. Доказано, что размещение касочного сигнализатора напряжения в верхней части каски и установление порога срабатывания 1000 В/м обеспечивает непрерывный контроль наличия напряжения на расстоянии менее 1 м до нижнего провода ВЛ 110 кВ на опорах различной конструкции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Наука, 1976. - 279 с.
2. Барг, И.Г. Воздушные линии электропередачи: Вопросы эксплуатации и надежности / И.Г. Барг, В.И. Эдельман. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 258 с.
3. Баркан, В.Ф. Радиоприемные устройства: Учеб. / В.Ф. Баркан, В.К. Жданов - М.: Сов.радио. - 1978. - 235 с.
4. Белов, П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере: Учеб. Пособие для студ. Высш. Учеб. Заведений / П.Г. Белов. - М.: Издательский центр «Академия», 2003. - 512 с.
5. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники: Электромагнитное поле. Учебник / Л.А. Бессонов. - 9-е изд., перераб. и доп. - М.: Гардарики, 2001. - 317 с.
6. Блохин, В. Г. Современный эксперимент: подготовка, проведение, анализ результатов: Учеб. для вузов / В.Г. Блохин, О. П. Глудкин, А.И.Гуров, М.А. Ханин; Под ред. О. П. Глудкина. - М.: Радио и связь, 1997. - 232 с.
7. Васильев, А.Г. «Электроэнергетика в России» / А.Г. Васильев, И.Н. Васильева // Сборник трудов IV Всероссийской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов. - Тольятти: Изд-во ТГУ. - 2016.
8. Васильева, И.Н. «Устройства индивидуальной защиты человека от поражения электрическим током» / И.Н. Васильева, А.Г. Васильев // Сборник трудов IV Всероссийской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов. - Тольятти: Изд-во ТГУ. - 2016.
9. Вентцель, Е.С. Исследование операций / Е.С. Вентцель. - М.: Советское радио, 1972. - 254 с.
10. Горланов, В.Е. Индивидуальные сигнализаторы напряжения // Новое в российской электроэнергетике. - 2001. - № 5. – с. 37 - 40.

11. ГОСТ 12.1.019-79 (СТС ЭВ 4830084). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. - М.: Изд-во стандартов. -1996.-7 с.
12. ГОСТ 12.4.011-89. ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация. - М.: Изд-во стандартов. - 1990. - 14 с.
13. Джонсон, Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных / Н. Джонсон, Ф.Лион - пер. с англ. под ред. к.т.н. Э.К.Лецкого. - М.:Мир. – 1980. – 78 с.
14. Долин, П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: Учеб. Пособие для вузов / П.А. Долин. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: «Знак», 2000. - 440 с , ил.
15. Захаров, В.К. Теория вероятностей / В.К. Захаров, Б.А, Себастьянов, В.П. Чистяков - М.: Наука, 1983.-160 с.
16. Ким, К.К. Сигнализаторы напряжения для воздушных ЛЭП 6 - 35 кВ / К.К. Ким, А.А. Красных, А.С. Морозов // Безопасность жизнедеятельности. - 2003. - № 6 . - с. 24-27.
17. Князевский, Б.А. Охрана труда в электроустановках: Учебник для вузов / Б.А. Князевский. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1983. -336 с.
18. Красных, А.А. Статистические показатели травматизма в электроэнергетике // Электробезопасность. - 2000. - № 4. - с. 24-31.
19. Красных, А.А., Электронные устройства для обеспечения безопасности обслуживания ЛЭП // Сб. докл. конф. «Охрана труда в энергетике-2003», Москва / ВВЦ. - М. - 2003.
20. Красных, А.А. Электрозащитные средства и устройства контроля для воздушных линий электропередачи / А.А. Красных. - Киров: 2004. -234 с.
21. Красных, А.А. Анализ травматизма на предприятиях Холдинга РАО «ЕЭС России» // Электробезопасность. - 2015. - № 1. - с. 18-30.
22. Красных, А.А. Квалификация, возраст, стаж пострадавших при анализе травматизма на предприятиях Холдинга РАО «ЕЭС России» // Электробезопасность. - 2015. - № 2-3. - с. 32-36.

23. Красных, А.А. Определение порогов и зон срабатывания различных типов сигнализаторов напряжения на воздушных линиях электропередачи / А.А. Красных, А.С. Морозов // Новое в российской электроэнергетике. - 2004. - № 11. - с. 41 - 53.
24. Красных А.А. Определение порога срабатывания индивидуального сигнализатор напряжения «ИВА-Н» / А.А. Красных, А.С. Морозов // Наука - ПРОТЭК: Всерос. науч.-техн. конф.: Сб. материалов, т. 4. / ВятГУ.-Киров,- 2004.- с. 14-15.
25. Красных, А.А. Логико-вероятностная модель возникновения травмоопасных ситуаций при эксплуатации воздушных линий электропередачи напряжением 6-110 кВ / А.А. Красных, А.С. Морозов, В.А. Хлебников // Электробезопасность. - 2003. - №2-3. - с. 62-69.
26. Манойлов, В.Е. Основы электробезопасности / В.Е. Манойлов - Л.: Энергоатомиздат. 1991.-480 с.
27. Материалы тематического селекторного совещания по вопросам охраны труда, состоявшегося 27.02.03. «Энерго-пресс». - М. - 2003.
28. Морозов, А.С. Системы сигнализации для устройств контроля наличия напряжения / Наука - Производство - Технологии - Экология: Сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции. Киров: Изд-во ВятГУ, 2002. - с. 31-32.
29. Морозов, А.С. Определение порога срабатывания и области применения сигнализаторов напряжения на воздушных ЛЭП / Сб. научных докладов конференции «Охрана труда в энергетике - 2004», ВВЦ г. Москва, 2004, с. 136-139.
30. Номоконова, О.В. Применение нечетких множеств в оценке и прогнозировании опасных ситуаций / О.В. Номоконова. - Челябинск. - 2003. - 94 с.
31. Российская энциклопедия по охране труда. В 2 т./ Гл. ред. А. П. Починок. - М.: Изд-во НИЦ ЭНАС, 2003. - 784 с.

32. Свидетельство на полезную модель №23506 от 20.06.2002. МПК 7 G 01 R 19/155, G 08 C 17/02. Сигнализатор напряжения индивидуальный. Красных А.А., Литвинов Д.Г., Машковцев И.И, Морозов А.С.

33. Теория причин возникновения несчастных случаев // Охрана труда за рубежом. Приложение к журналу «Новое в российской энергетике». - М. - 2002. -№2.- с. 14-18.

34. Хлебников, В.А. Применение радиосвязи в указателях и сигнализаторах напряжения при работах на воздушных ЛЭП 6 - 10 кВ /В.А. Хлебников // Энергетика сегодня и завтра: Сб. трудов Междунар. науч.-практ. конф./ ВятГУ. - 2004. - с. 90-95.

35. <http://ebp.ru>

36. <http://www.dielectric.ru>

37. <http://vsegost.com>