

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ОПАСНОСТИ И ОЦЕНКИ РИСКА В СЕТЯХ 10-0,4 КВ

Н.И. Черкасова

Приведены примеры применения известных методов анализа опасности и оценки риска для сельских распределительных сетей 35 – 0,4 кВ. Представлены модели «дерево происшествий» и «дерево событий – его исходов» для событий: пожар на КТП 10/0,4 кВ и воспламенение силового трансформатора с отключением подстанции, соответственно.

Ключевые слова: сельские электрические сети, оценка риска, метод «что будет, если», метод проверочного листа, анализ опасности и работоспособности, «дерево происшествий», «дерево событий».

Анализ риска аварий на опасных производственных объектах (далее - анализ риска) является составной частью управления промышленной безопасностью. Анализ риска заключается в использовании всей доступной информации для идентификации опасностей и оценки риска возможных нежелательных событий.

Результаты анализа риска используются при декларировании промышленной безопасности опасных производственных объектов, обосновании технических решений по обеспечению безопасности, страховании, экономическом анализе безопасности по критериям «стоимость-безопасность-выгода», при оценке воздействия хозяйственной деятельности на окружающую природную среду [1].

Основные задачи анализа риска аварий на опасных производственных объектах заключаются в предоставлении лицам, принимающим решения:

объективной информации о состоянии промышленной безопасности объекта;

сведений о наиболее опасных, «слабых» местах с точки зрения безопасности;

обоснованных рекомендаций по уменьшению риска.

Анализ рисков, занимающий важное место в проблеме надежности электроустановок, возможен при рассмотрении модели вида «человек – электроустановка – среда». В настоящее время сложилась определенная терминология теории безопасности и риска. Разработаны государственные стандарты анализа риска технологических систем, пожарной безопасности технологических процессов, безопасности гидротехнических сооружений. Разработаны и утверждены Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов,

методические руководства по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах и газопроводах и множество других руководящих указаний, касающихся промышленной безопасности по отраслям.

Вместе с тем методология учета и оценки безопасности при обосновании технических и организационных мероприятий по проектируемым и действующим объектам так называемой малой энергетики, к которой относятся сельские распределительные сети 35, 10 – 0,4 кВ и электроустановки зданий, до сих пор остаются в стадии разработки [2].

В статье излагаются примеры применения известных методов анализа опасности и оценки риска применительно к распределительным электрическим сетям 35, 10 – 0,4 кВ на примере узла «Подстанция (ПС) 35/10 кВ – воздушная линия (ВЛ) 10 кВ – КТП 10/0,4 кВ – воздушная линия 0,4 кВ»,

1. «Что будет, если...?» («What - if?») и проверочный лист («Check List»)

Методы «Что будет, если...?» («What - if?») и проверочного листа («Check List») относятся к качественным экспертным методам и представляют собой формализованные процедуры изучения степени соответствия условий проектирования, строительства и эксплуатации анализируемого объекта требованиям правил технической эксплуатации и норм в сфере обеспечения безопасности [3] электроустановки (ЭУ).

Использование метода «Что будет, если...?» («What - if?») предполагает ответы на перечень вопросов - что будет с объектом или его элементом, если реализуется конкретный вид нагрузок и/или воздействий (сверхрасчетные ветровые и температурные нагрузки, град и т. д.) либо процесс или событие, способное инициировать аварии на ЭУ (ошибки персонала, несанкционированное

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ОПАСНОСТИ И ОЦЕНКИ РИСКА В СЕТЯХ 10-0,4 КВ

техногенное воздействие на ЭУ, старение материалов и т. д.). Ответы на вопросы должны отражать мнение экспертов в части оценки характера и масштабов ожидаемых повреждений.

Результатом применения метода «Что будет, если...?» («What - if?») является таблица или иная форма регистрации полученной информации, содержащая, как правило,

наименование ЭУ и ее элементов, инициирующие опасные нагрузки, воздействия, процессы и события, характеристику поврежденных ЭУ, вызываемых этими опасностями, а также качественную экспертную оценку последствий аварий для основных групп реципиентов риска - персонала ЭУ, населения, имущества и окружающей природной среды (табл. 1).

Таблица 1 – Примерный вид таблицы результатов применения метода «Что будет, если...?»

п/п	Наименование распределительной сети и ее элементов	Причины повреждений и аварий распределительной сети	Характер и масштабы повреждений и аварий	Последствия для персонала, населения, имущества и окружающей среды
1.	ВЛ – 10 кВ, обрыв провода	1. Сверхрасчётные ветровые и гололёдные нагрузки; 2. Схлестывание проводов; 3. Отгорание провода из-за снижения сечения у крепления	Провод, упав на землю, создает опасную поражающую зону в радиусе Rш = 8,0 м	Поражение людей и с/х животных в радиусе Rш = 8,0 м
2.	Линейный разъединитель (ЛР) 10 кВ	1. Перекрытие ЛР-10 кВ из-за дождя; 2. разрушение изоляторов по причине грозы	Повреждение контактов разъединителей, повреждение траверсы опоры	Перерыв подачи электроэнергии потребителям

Примеры, приведенные в таблице 1, носят иллюстрационный характер и служат для пояснения логики использования предлагаемых методов.

Метод проверочного листа («Check List») отличается от метода «Что будет, если... ?» («What - if?») более широким и полным представлением исходных данных и результирующей информации о последствиях опасных

повреждений для основных групп реципиентов риска. Кроме того, в проверочном листе принято не только идентифицировать причины повреждений, их характер, масштабы и последствия, но и определять (на предварительном уровне) вероятность аварий, а также меры, необходимые для обеспечения безопасности в каждом из рассматриваемых случаев (табл. 2).

Таблица 2 – Примерный вид таблицы результатов применения метода проверочного листа

№ сценария	Наименование ЭУ и её элементов	Причины возможных повреждений и аварий	Характер и масштабы возможных повреждений и аварий ЭУ	Ожидаемая частота повреждений, 1/год	Последствия для персонала, населения, имущества и окружающей среды	Меры по предотвращению повреждений и аварий
1	Высоковольтный выключатель 10 кВ, воздушной линии, питающей населенный пункт	Отказ выключателя при прохождении тока КЗ (старение материалов)	Взрыв бака выключателя с выбросом масла	Крайне малая	Пожар; незначительный социальный, материальный и экологический ущерб	Установка дуговой защиты на выключателе
2.	Подстанция 35/10 кВ, ОРУ 35 кВ (рис. 1)	Ввод в работу из ремонта секции шин 35 кВ на включенный заземляющий нож (ошибка персонала)	3- фазное короткое замыкание на секции шин 35 кВ. В результате неселективной работы УРЗА отключение отходящих линий 35 кВ	Малая (≈ 10-4)	значительный социальный, и незначительный материальный и экологический ущерб	Монтаж электромагнитной блокировки. Противоаварийные тренировки с оперативным персоналом

Достоинством методов «Что будет, если...?» («What - if?») и проверочного листа («Check List») является их простота для понимания всеми участниками анализа риска и относительно небольшие временные затраты на реализацию. К недостаткам следует отнести необходимость рассмотрения весьма широкого перечня событий и процессов, а также всегда присутствующую возможность упущения ряда действительно серьезных опасностей, способных привести к крупной аварии ЭУ.

Указанные методы весьма эффективны практически на всех стадиях жизненного цикла распределительных электрических сетей для предварительного анализа опасностей и качественного анализа риска аварий.

Качественные оценки вероятностей аварий по каждому из выявленных возможных сценариев их возникновения и развития рекомендуется выполнять на основе коллективного мнения экспертов, сформулированного с помощью формализма нечетких множеств [3], количественные оценки - как экспертным, так и расчётным путем.

2. Анализ опасности и работоспособности («Hazard and Operability Study» - HAZOP)

Применение метода HAZOP начинается, в отличие от методов «Что будет, если...?» («What - if?») и проверочного листа («Check List»), не с определения видов возможных повреждений и неполадок, а с изуче-

ния всего перечня контролируемых показателей состояния анализируемого объекта и их отклонений от допустимых значений (критериев безопасности) [3, 4].

Метод HAZOP основан на предположении (подтверждаемом обширным опытом эксплуатации электроустановок), согласно которому развивающиеся или уже имеющиеся повреждения и неполадки проявляются в той или иной мере в отклонениях значений показателей состояния ЭУ от обычно наблюдаемого или предельно допустимого уровня

Применение данного метода начинается с исследования компоновки и структуры элементов анализируемых распределительных электрических сетей и ЭУ, воздействий и нагрузок на них, а также особенностей жизненного цикла объекта, включая уже имевшие место повреждения, аварии и неполадки. Далее изучается весь перечень контролируемых показателей состояния, анализируются все возможные отклонения каждого из показателей состояния от допустимых значений. Затем выявляются возможные причины и следствия этих отклонений. Наконец, на завершающем шаге определяются меры по предотвращению опасных отклонений показателей состояния от допустимых значений. Результаты исследований для каждого из показателей состояния анализируемого узла сети заносятся в специальные таблицы (табл. 3).

Таблица 3 – Перечень отклонений при применении метода изучения опасности и работоспособности (HAZOP) узла «воздушная линия 10 кВ – КТП 10/0,4 – воздушная линия 0,4 кВ» распределительной электрической сети (фрагмент результатов)

Ключев. слово	Отклонение	Причины	Последствия	В	Т	К	Рекомендации
Меньше	1. Ослабление в контактном соединении шлейфов от питающей линии 10 кВ к проходным изоляторам. 2. Ослабление контактов в соединении токоведущих шин в/в шкафа КТПк проходным изоляторам. 3. Ослабление в контактных соединениях проводников 0,4 кВ отходящих фидеров	1. Применение в контактных соединениях разнородных металлов или отсутствие в болтовом неразъемном соединении антирасслабляющих шайб 2. Отсутствие в болтовом неразъемном соединении антирасслабляющих шайб	1. Искрение, переходящее в дугу Как в п. 1 Как в п. 1	2	4	6	Установить систему аварийной сигнализации на основе дуговой защиты
				3	4	7	
				3	4	7	
Больше	Повышение рабочего тока до сверхтока	3. Применяемые автоматы не соответствуют условиям работы	Перекрытие между полюсами автоматических выключателей низковольтного шкафа КТП	1	2	3	Применение автоматических выключателей с наличием дугогасительных камер
Меньше	1. Понижение сопротивления опорной изоляции	4. Увлажнение и загрязнение опорной изоляции	Перекрытие по поверхности опорного изолятора, замыкание на землю	2	3	5	Должное техническое обслуживание по чистке изоляции

Таким образом, реализация метода HAZOP заключается в получении ответов на вопросы: что может произойти с ЭУ при изменениях ее показателей состояния, чем эти изменения могут быть вызваны, к чему приведут и как противодействовать нежелательным процессам и событиям.

В процессе изучения возможных отклонений показателей состояния ЭУ от допустимых значений рекомендуется использовать ключевые слова «нет», «больше», «меньше», «другой», «иначе чем» и т. д. Примерное содержание ключевых слов следующее [3]:

«нет» - отсутствие питания в цепях управления; отсутствие питания собственных нужд подстанции, отсутствие персонала на объекте в момент повреждения; отсутствие электропитания приводов задвижек пожаротушения и т. д.;

«больше» - повышение тока до сверхтока, перенапряжение, превышение показателей качества электроэнергии сверх допустимых значений и т. д.;

«меньше» - снижение напряжения, понижение сопротивления изоляции и т. д.;

«другой» - на территории ПС ведутся несанкционированные работы; установка оборудования, не предусмотренного проектом, и т. д.;

«иначе чем» - установленное оборудование не соответствует режиму работы, вместо предохранителей стоят «жучки» и т. д.

Разумеется, приведенный перечень носит предварительный характер и определяется для каждого объекта самостоятельно.

Степень опасности отклонений показателей состояния анализируемого узла сети от предельно допустимых значений (критериев безопасности) в рамках метода HAZOP может быть определена как качественно (экспертные оценки), так и количественно - путем расчетных оценок показателей термической стойкости, коэффициента абсорбции, вероятностей (среднегодовых частот) реализации причин неполадок и повреждений, габаритов зоны аварийного воздействия и масштабов последствий возможных опасных отклонений.

Применение метода анализа опасности и работоспособности («Hazard and Operability Study» - HAZOP)

В табл. 3 представлен фрагмент результатов анализа опасности и работоспособности узла «Воздушная линия 10 кВ – КТП 10/0,4 кВ – воздушная линия 0,4 кВ». В процессе анализа для каждой электроустановки, воздушной или кабельной линии или транс-

форматорной подстанции определяются возможные отклонения, причины и рекомендации по обеспечению безопасности. При характеристике каждого возможного отклонения используются ключевые слова «нет», «больше», «меньше», «так же, как», «другой», «иначе, чем», «обратный» и т.п. В табл. 3 приведены также экспертные балльные оценки вероятности возникновения рассматриваемого отклонения В, тяжести последствий Т и показателя критичности $K = B + T$. Показатели В и Т определялись по 4-балльной шкале (балл, равный 4, соответствует максимальной опасности).

Отклонения, имеющие повышенные значения критичности, далее рассматриваются более детально, в том числе при построении сценариев аварийных ситуаций и количественной оценке риска.

3. Анализ вида и последствий отказов («Failure Mode and Effects Analysis» - FMEA)

«Failure Mode and Effects Analysis» - FMEA является методом индуктивного типа, с помощью которого систематически, путем последовательного рассмотрения одного элемента объекта за другим, определяются все возможные виды отказов, повреждений или аварийных ситуаций и их результирующие воздействия на ЭУ и распределительные электрические сети (ЭС) в целом и окружающую их среду, включая население и имущество третьих лиц [4]. Отдельные аварийные ситуации, повреждения или отказы элементов ЭУ или сетей анализируются с целью оценки их влияния на другие элементы распределительных сетей в целом, а также на окружающую среду (табл. 4).

Существенной особенностью метода FMEA является необходимость рассмотрения всех без исключения элементов и конструкций анализируемого сооружения. Цель рассмотрения - определение по возможности всех мыслимых (не противоречащих законам природы и здравому смыслу) причин и видов отказов, повреждений и неполадок каждого из элементов (конструкций) ЭУ и последствий этих отказов, повреждений и неполадок для объекта в целом и окружающей среды, включая все основные группы реципиентов риска.

В этом аспекте метод FMEA дает возможность провести более полный качественный анализ причин и последствий отказов элементов и конструкций ЭС и ЭУ, чем метод анализа «дерева отказов» (см. ниже), в котором анализируются и оцениваются только те события, отказы и процессы, которые приводят к головному событию [6].

Таблица 4 – Примерный вид таблицы результатов применения метода анализа вида и последствий отказов (FMEA)

№ п/п	Наименование ЭУ и её элементов	Вид повреждения или отказа	Причины	Признаки и локальные последствия, включая зависящие отказы	Способ распознавания повреждения или отказа	Меры предотвращения или локализации повреждения или отказа	Воздействие отказа или повреждения на ЭУ в целом и окружающую среду	Примечание (оценка опасности отказа или повреждения)
1.	Выключатели высоковольтные 35, 10 кВ	Не отключение выключателя	Потеря питания оперативного тока	Распространение аварии на соседние ячейки, возможно погашение всей подстанции и отключение транзитных линий (35 кВ)	Нет питания на шинках управления	Регулярные осмотры и контроль состояния оборудования. Резервирование электропитания	Возможен взрыв бака выключателя с выбросом масла	Нарушение электроснабжения потребителей, значительные социальные, материальный и экологический ущербы
			Электрическая или химическая эрозия контактов		Нет расхождения контактов			
			Неодновременность хода полюсов		Значительное повреждение контактов			

Как правило, метод FMEA применяется для качественного анализа риска аварий. Однако его использование зачастую связано со значительными трудозатратами, поскольку необходимо рассмотреть максимально широкий перечень возможных причин и видов отказов. Тем не менее, метод FMEA весьма полезен на стадии предварительного анализа опасностей. Кроме того, данный метод позволяет составить максимально подробный перечень показателей состояния ЭУ и необходимых проверок соответствия этих показателей предельно допустимым значениям (критериям безопасности).

4. Анализ вида, последствий и критичности отказа («Failure Mode, Effects and Critical Analysis» - FMECA)

Анализ вида и последствий отказа (FMEA) можно расширить до количественного анализа вида, последствий и критичности отказа (FMECA) путем ранжирования всех идентифицированных видов отказов элементов и конструкций анализируемого сооружения с учетом двух составляющих критичности - вероятности (среднегодовой частоты) и тяжести последствий данного отказа [4, 6].

Понятие критичности достаточно близко к понятию риска и может использоваться при детальном количественном анализе риска аварий ЭУ. Определение параметров критичности весьма полезно при обосновании приоритетов и выборе мероприятий по повышению безопасности, причем для разных целей анализа риска возможны разные пути установления параметров критичности.

При проведении анализа риска аварий ЭУ и ЭС в соответствии с требованиями пра-

вовых и нормативных актов Российской Федерации необходимо выделять четыре группы реципиентов риска, которым может быть нанесен ущерб от аварии в ЭУ - персонал ЭУ, население, материальные объекты (имущество третьих лиц) и окружающая природная среда [1]. По отношению к указанным группам реципиентов риска при выполнении анализа риска в электрических сетях в рамках разработки деклараций безопасности, расчетов вероятного вреда от аварии ЭУ, определении критериев безопасности ЭУ целесообразно использовать следующие параметры критичности отказов по тяжести последствий [7]:

- катастрофический отказ - приводит к гибели и травмам людей, наносит значительный ущерб анализируемому объекту, населению, имуществу третьих лиц и окружающей природной среде;

- критический отказ - угрожает жизни и здоровью людей, наносит существенный ущерб анализируемому объекту, населению, имуществу третьих лиц и окружающей природной среде;

- некритический отказ - не угрожает жизни и здоровью людей, потере объекта, имуществу третьих лиц и окружающей природной среде;

- отказ с пренебрежимо малыми последствиями - не относится по своим последствиям ни к одной из первых трех категорий.

В табл. 5 приведена матрица рекомендуемых параметров критичности по степени риска отказа, повреждения, неполадки, аварии с учетом тяжести последствий.

Таблица 5 – Матрица «вероятность - тяжесть последствий» для анализа вида, последствий и критичности отказов (FMECA)

Ожидаемая частота возникновения отказа, 1/год		Тяжесть последствий			
		катастрофический отказ	критический отказ	некритический отказ	отказ с пренебрежимо малыми последствиями
Частый отказ	>1	A	A	A	C
Вероятный отказ	$1 - 10^{-2}$	A	A	B	C
Возможный отказ	$10^{-2} - 10^{-4}$	A	B	B	C
Редкий отказ	$10^{-4} - 10^{-6}$	A	B	C	D
Практически невероятный отказ	$<10^{-6}$	B	C	C	D

Категории отказов, получаемые их ранжированием с помощью матрицы «вероятность - тяжесть последствий», выглядят следующим образом:

A - обязателен детальный количественный анализ риска, требуются особые меры снижения риска аварии и обеспечения безопасности ЭС;

B - желателен детальный количественный анализ риска, требуется принятие определенных мер безопасности;

C - рекомендуется проведение качественного анализа риска и принятие определенных мер безопасности;

D - детальный анализ риска и принятие мер безопасности не требуются.

Принято считать, что сельские распределительные сети менее важны и значимы по сравнению с магистральными, системообразующими и питающими сетями энергосистемы, отказы и небольшие аварии не могут нанести большого вреда либо значительного материального ущерба. Однако линии электропередач низкого напряжения весьма разветвлены и многочисленны, а количество КТП 10/0,4 кВ по стране превышает число в полмиллиона. Так, крупнейшая электросетевая компания России ОАО «Россети» насчитывает в своем составе около 450 тысяч КТП 10/0,4 кВ и около 2 млн. км воздушных линий 35, 10 и 0,4 кВ. Некрупные, но частые аварии на подстанциях 35/10 кВ, большое число аварийных и плановых отключений линий 10 и 0,4 кВ приносят урон сельским товаропроизводителям, ухудшают качество жизни населения и вносят определенную социальную напряженность в регионы [5]. Незначительные на первый взгляд отказы в сетях 10 кВ могут привести к крупным системным авариям. Такой случай произошёл летом 2010 г. на подстанции 500 кВ «Арзамасская». При вводе в работу после текущего ремонта трансформатора АТ-2 и включении нагрузки потребителя в КРУН 10 кВ произошло трехфазное короткое замыкание (КЗ), а так как по ошибке персонала не все защиты трансформатора

были введены в работу (после ремонта), а также из-за некоторых недостатков конструкции и старения оборудования выключатель 10 кВ не отключился, авария (дуга) перекинулась на соседние ячейки, трансформатор не отключился со стороны 220 кВ и начался пожар вводов 10 кВ АТ-2. В результате подстанция была полностью погашена, отключились все транзитные линии 500, 220, 110 кВ, и 5 соседних подстанций. В тушении пожара трансформатора 500 кВ приняли участие 5 пожарных расчетов, которым удалось погасить огонь лишь через 4 часа.

Практика показывает, что крупные аварии, как правило, характеризуются комбинацией случайных событий, возникающих с различной частотой на разных стадиях возникновения и развития аварии (отказы оборудования, ошибки человека, нерасчетные внешние воздействия, разрушение, выброс, пролив вещества, воспламенение, взрыв и т.д.) Для выявления причинно-следственных связей между этими событиями используют логико-графические методы анализа «деревьев событий – исходов» и «деревьев отказов».

5. Анализ «дерева отказов» («Fault Tree Analysis» - FTA)

Анализ «дерева отказов» («Fault Tree Analysis» - FTA), это дедуктивный метод определения условий и факторов, способных привести к определенному нежелательному событию (так называемому головному событию). «Дерево отказов» - логически организованная графическая конструкция, в которой демонстрируется взаимодействие элементов системы, отказ которых по отдельности или в сочетании может способствовать появлению нежелательного события - отказа системы в целом - головного события «дерева отказов» [3].

Пример «дерева отказа1», используемого для анализа причин возникновения аварийных ситуаций, например пожара КТП 10/0,4 кВ при эксплуатации распределительных сетей, приведен на рис. 1. Структура

«дерева отказа» включает одно головное событие (аварию, инцидент), которое соединяется с набором соответствующих нижестоящих событий (ошибок, отказов, неблагоприятных внешних воздействий), образующих причинные цепи (сценарии аварий). Для связи между событиями в узлах «деревьев» используются знаки «И» и «ИЛИ». Логический знак «И» означает, что вышестоящее событие возникает при одновременном наступлении нижестоящих событий (соответствует перемножению их вероятностей для оценки вероятности вышестоящего события). Знак «ИЛИ» означает, что вышестоящее событие

может произойти вследствие возникновения одного из нижестоящих событий.

В отечественной литературе встречаются и иные наименования этого «дерева»: «дерево отказов», «дерево неполадок», «дерево происшествий» и т.п.

Так, «дерево», представленное на рис.1, имеет промежуточные события (прямоугольники), тогда как в нижней части «дерева» кругами с цифрами показаны постулируемые исходные события-предпосылки, наименование и нумерация которых приведены в табл.6.

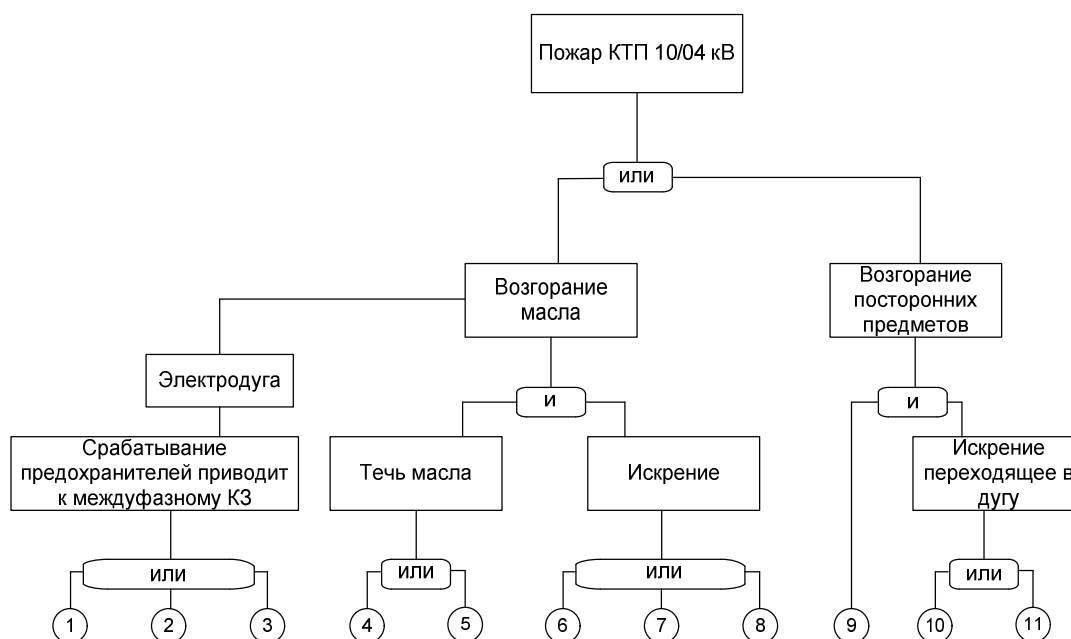


Рисунок 1 - «Дерево отказа», пожар КТП10/0,4 кВ

Таблица 6 – Исходные события «дерева отказа» (согласно рис. 3)

№ п/п	Событие или состояние модели	Вероятность события P_i
1	Использование открытых плавких вставок вместо стандартных предохранителей	0,1
2	Применение нерасчетных предохранителей 10 кВ	0,08
3	Расслабление ламелей держателей высоковольтных предохранителей	0,04
4	Старение резиновых уплотнителей под крышкой бака трансформатора	0,02
5	Старение уплотнителей на проходных изоляторах трансформатора 10/0,4 кВ	0,03
6	Искрение в ослабленных врубных контактах вводного рубильника низковольтного шкафа	0,08
7	Ослабление контактов шинок низковольтного шкафа	0,05
8	Ослабление контактов проводников отходящих фидеров низковольтного шкафа	0,08
9	Наличие посторонних предметов: ветоши, гнезда птиц	0,01
10	Ослабление контактов в соединении токоведущих шин высоковольтного шкафа	0,04
11	Ослабление контактов в соединении шлейфов от питающей ВЛ 10 кВ к проходным изоляторам	0,01

Анализ «дерева отказа» позволяет выделить ветви прохождения сигнала к головному событию (в нашем случае на рис.1 их три), а также указать связанные с ними минимальные пропускные сочетания, минимальные отсечные сочетания.

Минимальные пропускные сочетания - это набор исходных событий-предпосылок (на рис. 1 отмечены цифрами), обязательное (одновременное) возникновение которых достаточно для появления головного события (аварии). Для «дерева», отображенного на рис. 1, такими событиями и (или) сочетаниями являются: {1},{2},{3}, {4•6}, {4•7}, {4•8}, {5•6}, {5•7}, {5•8}, {9•10}, {9•11}. Пропускные сочетания используются главным образом для выявления «слабых» мест.

Минимальные отсечные сочетания - набор исходных событий, который гарантирует отсутствие головного события при условии невозникновения ни одного из составляющих этот набор событий: {1•2•3•4•5•9•10•11}, {1•2•3•6•7•8•9•10•11}, {1•2•3•6•7•8•9•10•11•}. Минимальные отсечные сочетания используются главным образом для определения наиболее эффективных мер предупреждения аварии.

6. Анализ «дерева событий» («Event Tree Analysis» - ETA)

Анализ «дерева событий» («Event Tree Analysis» - ETA) - индуктивный

метод определения возможных следствий и, если это требуется по условиям анализа риска, вероятностей (среднегодовых частот) реализации некоторого отправного события [6, 8]. ETA широко используется для анализа последствий нежелательных событий для сложных технических систем в электронике, ядерной технике, химико-технологических установках, оснащенных системами обеспечения безопасности. Анализ «дерева событий» находит применение при исследованиях возможных путей развития аварийных процессов и распространения их за пределы ЭУ.

Пример «дерева событий» для количественного анализа различных сценариев аварий на подстанции, в том числе большой системной аварии на подстанции 500 кВ, которая произошла из-за КЗ на КТП 10/0,4 кВ и была упомянута выше, представлен на рис. 2. Цифры рядом с наименованием события показывают условную вероятность возникновения этого события. При этом вероятность возникновения инициирующего события (3-фазное КЗ в КТП 10/0,4 кВ) принята равной 1. Значение частоты возникновения отдельного события или сценария пересчитывается путем умножения частоты возникновения инициирующего события на условную вероятность развития аварии по конкретному сценарию.

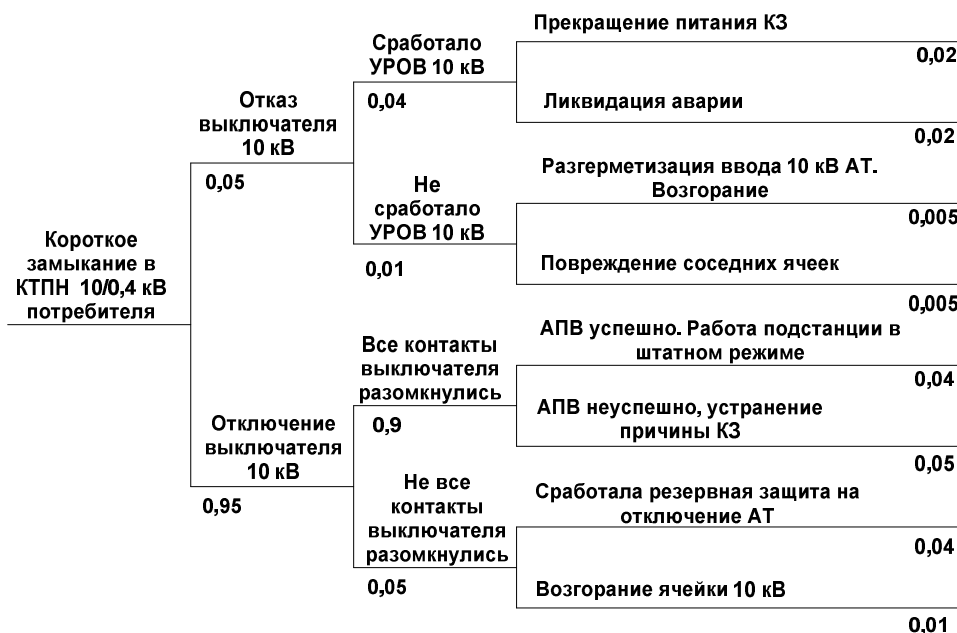


Рисунок 2 - «Дерево событий» аварии на КТП 10/0,4 кВ

Выводы

Вследствие недостатка статистических данных на практике рекомендуется использо-

вать экспертные оценки и методы ранжирования риска, основанные на упрощенных методах количественного анализа риска. В этих подходах рассматриваемые события или

элементы следует разбивать по величине вероятности, тяжести последствий и риска на несколько групп (или рангов), например, с высоким, промежуточным, низким или незначительным уровнем риска.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. РД 03-418-01. Утверждены Постановлением № 30 Госгортехнадзора России от 10. 07. 2001

2. О.К. Никольский Оценка риска сельских электрических сетей/ О.К Никольский., Н.И. Черкасова //Техника в сельском хозяйстве. – М. 2013. №6. – С. 21 – 23.

3. Методические указания по проведению анализа риска аварий гидротехнических сооружений СТП ВНИИГ 210.02. НТ – 04 – Санкт-Петербург, 2005.

4. Елохин А.Н. Анализ и управление риском: теория и практика. М.: Страховая группа «Лукойл». 2000.

5. Черкасова Н.И. Анализ состояния сельских электрических сетей 10 кВ в свете мониторинга отказов/ Н.И. Черкасова // Ползуновский вестник. – Барнаул, 2012. - №4. – С. 49 – 55.

6. Хенли Д., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска. Пер. с англ. – М.: Машиностроение. 1984. – 528 с.

7. ГОСТ Р 27.310-93. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения. - М.: Изд-во стандартов, 1993.

8. Стандарт МЭК. Техника анализа надежности систем. Метод анализа вида и последствий отказов. Публикация 812 (1985 г.).

Черкасова Н.И. - Рубцовский индустриальный институт АлтГТУ им. И.И. Ползунова, зав. кафедрой «Электроэнергетика», к.т.н., доцент,
тел. (38557)5-98-75,
E-mail: 4ercas@bk.ru