

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБЪЕКТА (НА ПРИМЕРЕ ООО «АЛЬТАИР-АГРО», РЕБРИХИНСКИЙ РАЙОН, АЛТАЙСКИЙ КРАЙ)

Богатырев А.И. – студент, Никольский О.К. – д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В основе предупреждения отказов и аварий электроустановок (ЭУ) лежит диагностика (эксплуатационный контроль) электрической изоляции и токоведущих ее частей. Эксплуатационный контроль ЭУ состоит в проверке соответствующих значений ее параметров (диагностических) требованиям нормативной или технической документации. Действующая нормативная база предоставляет периодическое (1 раз в два года) измерение сопротивления изоляции (электропроводки и электрооборудования) и визуальный осмотр, что является явно недостаточным. Существующие методы контроля технического состояния не позволяют определить остаточный ресурс ЭУ, тем самым своевременно принимать решения, направленные на предупреждение аварий в электроустановках.

Целью работы является разработка метода оценки остаточного ресурса ЭУ на основе выбора диагностических параметров (ДП).

Остаточный ресурс характеризуется суммарной наработкой ЭУ от момента ее контроля до перехода в предельное состояние, при котором дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна.

Диагностические параметры - количественные показатели, характеризующие изоляционные и токоведущие части ЭУ, значение которых определяется с помощью инструментальных измерений.

К ДП отнесем:

1. По изоляционным свойствам:
  - сопротивление изоляции ( $R_{из}$ );
  - ток утечки (дифференциальный) на землю ( $I_{ут}$ );
  - коэффициент абсорбции ( $K_{абс}$ );
  - коэффициент поляризации ( $K_{пол}$ ).
2. По токоведущим свойствам:
  - сопротивление токоведущих цепей ( $R_{т.ц.}$ );
  - сопротивление контактов и клеммных соединений ( $R_{конт.}$ );
  - температура контактов ( $t_{конт.}^0$ ).

В основе экспериментальных исследований лежит сбор и анализ диагностической информации о техническом состоянии ЭУ в рабочем режиме для построения математической модели рискообразующих факторов воздействия электрического и теплового поля, параметров влияния среды на процесс старения и износа ЭУ.

При выборе факторов, влияющих на величину ДП, необходимо учитывать:

- параметры ЭУ (напряжение сети, ток короткого замыкания, сопротивление заземляющего устройства и повторного заземления, параметры электрозщитной аппаратуры);
- характеристики электропроводки и электрооборудования (тип исполнения, марку провода и способ прокладки, время эксплуатации);
- характеристика микроклимата помещений (температура, влажность, температура поверхностей ограждающих конструкций, предметов, оборудования, наличие химически активных веществ).

Экспериментальные исследования предусматривают:

- сбор данных (анализ проектной документации, опрос персонала, экспертная оценка);
- измерение ДП и факторов, влияющих на их значения;
- систематизацию результатов опытных данных и систематическую их обработку.

Статистическая обработка предусматривает: формирование выборки и оценку ее однородности, определение законов распределения ДП и их числовых оценок, построение

уравнений регрессии и определение коэффициентов корреляции, позволяющие установить причинно-следственные связи между ДП и факторами, характеризующими их численное значение.

Математическая модель процесса старения и износа конструктивных частей ЭУ может быть представлена в общем виде структурной схемой; величина фактора на формирование значений ряда  $S(t)$  в виде следующего разложения:

$$S(t) = F_{mp}(t) + \sum_{k=1}^n a_k f_k(t) + z(t), \quad (1)$$

где  $F_{mp}(t)$  – функция тренда диагностического параметра  $S(t)$ ;  $f_k(t)$  – функция, формирующая изменение ДП, обусловленным действием  $k$ -го фактора;  $z(t)$  – результат воздействия случайных факторов, не поддающихся учету и оценки;  $a_k$  – коэффициент, принимающий значения 1 или 0, в зависимости, участвует ли в формировании значений  $S(t)$   $k$ -ый фактор. Вывод об учете  $k$ -го фактора в формировании значений  $S(t)$  принимается экспертом на основании статистического анализа ДП.

#### Выводы

Показана необходимость определения и учета диагностических параметров, позволяющих оценить техническое состояние ЭУ, в зависимости от времени эксплуатации, в условиях воздействия рискообразующих факторов. По оценкам и информации о динамике изменения ТС позволяет обоснованно принять решение либо о продлении срока эксплуатации электроустановки, либо о выводе ее в ремонт.

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ИНТЕГРАЛЬНОГО РИСКА ОПАСНОСТИ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОЙ СИСТЕМЫ

Боярков Д.А. – магистрант группы 8Э-52, Никольский О.К. – д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Повышение интенсификации сельскохозяйственного производства и улучшение качества жизни сельского населения являются приоритетными в развитии аграрного сектора экономики страны. В связи с этим проблема снижения техногенных угроз, повышения эксплуатационной надёжности и безопасности электроустановок (ЭУ), увеличения остаточного ресурса технологического электрооборудования представляется в настоящее время актуальной. Особенно остро стоит эта проблема в результате старения основных фондов отрасли, износ которых превысил критический уровень [1]. Количественным показателем, наиболее полно характеризующим техническое состояние и остаточный ресурс ЭУ объектов агропромышленного комплекса (АПК), по мнению многих ученых в области электробезопасности, является риск опасности (техногенный риск).

Под техногенным риском понимается вероятность случайного опасного события, результатом которого является ущерб, наносимый человеку, имуществу и среде его обитания. Очевидно, что при эксплуатации электроустановки на человека могут воздействовать несколько опасных факторов и поэтому могут произойти различные опасные события. В связи с этим, было введено понятие интегрального риска электроустановки [2], который определяется как показатель потенциальной техногенной опасности, учитывающий социальный, материальный и экологический ущерб, выраженный в едином денежном эквиваленте. Его математическая модель может быть представлена в виде:

$$R_{\Sigma} = R(Y_C) + R(Y_M) + R(Y_{\text{Э}}), \quad (1)$$

где  $R(Y_C)$ ,  $R(Y_M)$ ,  $R(Y_{\text{Э}})$  - риски социального, материального и экологического ущерба  
( $Y_C, Y_M, Y_{\text{Э}}$ ).

Интегральный риск должен учитывать все виды опасности электроустановки, включая электрическую, пожарную, электромагнитную и экологическую, обусловленные неконтролируемым высвобождением электрической энергии, ее распространением и негативным воздействием на людей и сельскохозяйственных животных, материальные и природные ресурсы, электромагнитную обстановку [1].

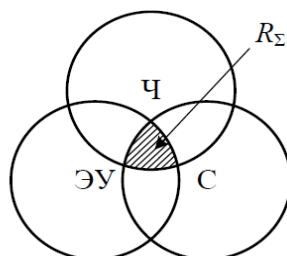


Рисунок 1 – Иллюстрация интегрального риска

Интегральный риск  $R_{\Sigma}$  (рисунок 1) следует трактовать как результат взаимодействия компонентов человеко-машинной системы (ЧМС). Под ЧМС понимается система "человек - электроустановка - среда" (Ч-ЭУ-С). Компонент "человек" (Ч) является потенциальной жертвой, компонент "электроустановка" (ЭУ) - источник техногенной опасности, а компонент "среда" (С) - окружающее пространство, являющееся связующим признаком взаимодействия человека и электроустановки. Все три компонента являются источниками причин возникновения опасных техногенных ситуаций (ОТС) и их исходов (аварии и отказы ЭУ, ошибки персонала, негативное воздействие факторов среды). Нарушение устойчивости функционирования системы Ч-ЭУ-С, вызванное накопленной энергией и её выбросом, приводит к реализации опасности вследствие скачкообразного или постепенного прироста энтропии в результате аварии ЭУ или по причине её старения и износа [3].

При оценке интегрального риска ЭУ необходимо определение не только вероятности ОТС, но и учет всех видов потерь и издержек, т.е. оценка полного интегрального ущерба.

Рассмотрим риск как количественную меру опасности:

$$R_{\Sigma} = \sum_i^n P_i Y_i, \quad (2)$$

при условии, что могут возникнуть  $n$  опасных событий  $i$  с различными вероятностями  $P_i$  и соответствующими им ущербами  $Y_i$ . Тогда выражение интегрального риска может быть представлено в виде:

$$R_{\Sigma} = \int F(Y)P(Y)dY, \quad (3)$$

где  $F(Y)$  - весовая функция потерь, с помощью которой последствия опасностей различной природы приводят к единой (стоимостной) оценке ущерба;  $P(Y)$  - плотность распределения случайной величины  $Y$  [4].

Интегральный риск ЭУ можно представить в виде функционала трех лингвистических переменных, расположенных интервально соответственно по осям  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ :

$$R_{\Sigma} = F\left[\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}\right], \quad (4)$$

Отрезки  $\bar{X}$ ,  $\bar{Y}$ ,  $\bar{Z}$  характеризуют в количественном выражении возможность наступления опасного события, его длительность и продолжительность. Данные отрезки строятся на основе лингвистических оценок этих параметров, которые приведены в [1]. Затем на основе таблиц лингвистических оценок [1] строится матрица интегрального риска ЭУ в графическом виде, имеющая вид как на рисунке 2.

Введение трехмерной матрицы позволяет определить степень опасности и исхода аварий, электротравмы или пожара.

Кроме того, интегральный риск можно определить с помощью аппарата нечеткой логики по следующему алгоритму:

- 1) Формирование таблицы рискообразующих факторов (РОФ) компонентов системы для каждого кластера.
- 2) Проведение экспертной оценки: каждому РОФ задается смысловое выражение, присваивается код и вес, вычисляется индикатор опасности.
- 3) Введение лингвистической переменной - задается трехуровневая шкала терм-множеств.

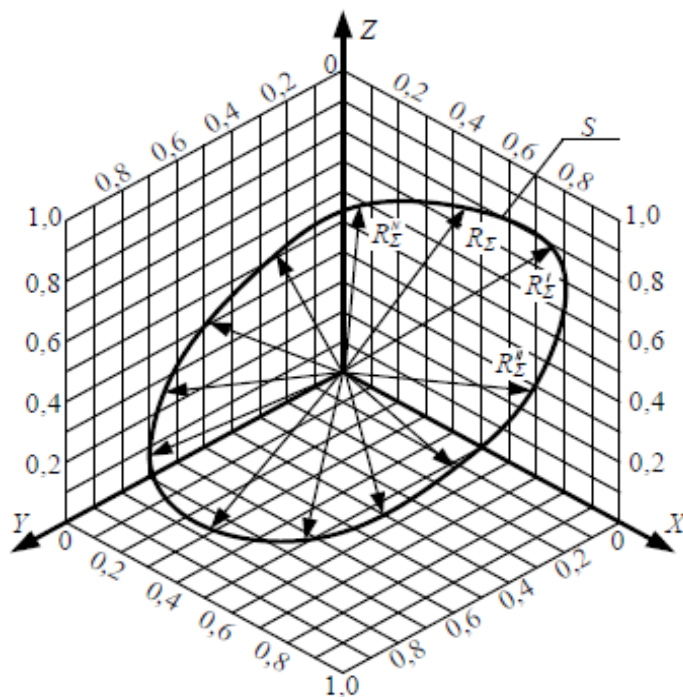


Рисунок 2 - Матрица интегрального риска ЭУ

- 4) Группировка полученных совокупностей РОФ по отдельным кластерам.
- 5) Определение риска по каждому компоненту (кластеру) ЧМС:

$$R_K = \sum_{i=1}^8 w_i r_i, \quad (5)$$

где  $w_i$  - значимость (вес) показателя;  $S$  - количество РОФ, входящих в каждый кластер. Значимость риска  $r_i$  определяется на основе ранжирования в свертке.

б) Расчет интегрального риска: для принятой лингвистической переменной "значимость фактора риска" с терм-множеством  $T_j$  для стандартного трехуровневого классификатора с тремя функциями принадлежности  $\mu_{ij}(x)$  треугольного вида определяется по выражению:

$$R_{\Sigma} = \sum_{i=1}^6 w_i \sum_{j=1}^3 \beta_j \mu_{ij}(x_i), \quad (6)$$

где  $w_i$  - вес  $i$ -го фактора в свертке;  $\beta_j$  - узловые точки стандартного трехуровневого классификатора;  $\mu_{ij}(x_i)$  - значение функции принадлежности  $j$ -го качественного уровня.

В данной работе были показаны основные математические модели интегрального риска-комплексного критерия, который показывает эффективность функционирования человеко-машинной системы (Ч-ЭУ-С) в условиях неопределенности исходных данных. В основу критерия  $R_{\Sigma}$  положена мультипараметрическое описание динамического состояния системы, учитывающего, наряду с параметрами надежности, факторы, характеризующие ее безопасность, эргономичность и экономичность.

#### Список использованных источников

1. Калинин, А.Ф. Оценка и управление интегральным риском опасности электроустановок на предприятиях АПК в условиях неопределенности : дис. ... кан-та техн. наук : 05.20.02 : защищена 04.12.15. / Калинин Александр Фёдорович. – Улан-Удэ, 2015. – 198 с. : ил. – В надзаг. : Вост. сиб. гос. ун-т технологий и упр-ия.
2. Ерёмкина, Т.В. Методология оценки интегрального риска опасности электроустановок объектов агропромышленного комплекса [Текст] / Т.В. Ерёмина, А.Ф. Калинин // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2015. – №6. – С. 103-108.
3. Калинин А.Ф. Оценка и управление интегральным риском опасности электроустановок на предприятиях АПК в условиях неопределенности: автореф. дис. на соиск. учен. степ. кан-та техн. наук "Электротехнологии и электрооборудование в сел. хоз-ве" / Калинин Александр Фёдорович ; [Вост. сиб. гос. ун-т технологий и упр-ия]. – Улан-Удэ, 2015. – 24 с. : ил.
4. Никольский, О.К. Основы электромагнитной совместимости : учебник для вузов / под ред. докт. техн. наук, проф. Р.Н. Корякина; Алт. гос. тех. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул: ОАО «Алтайский полиграфический комбинат», 2007. - 480 с.

#### СВЕРХПРОЧНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПРОВОДА С ПОВЫШЕННЫМИ МЕХАНИЧЕСКИМИ И ЭЛЕКТРОПРОВОДНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Гроза Р.С. – студент, Компанец Б.С. - к.т.н., доцент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Рост потребления электрической энергии, увеличивает актуальность повышения пропускной способности и надёжности воздушных линий электропередачи, разработки и применения новых проектных и строительных решений, использования современных материалов и технологий. Применение новых материалов и оптимизированных проектных решений актуально также вследствие необходимости масштабной реновации сетевой инфраструктуры, срок службы которой превышает 40-50 лет. Социальные и экономические условия выполнения реновации предполагают применение рациональных и эффективных решений на основании технико-экономического сопоставления.

Анализ международного и отечественного передового опыта показывает, что при строительстве новых и реновации действующих воздушных линий электропередачи все чаще применяются провода нового поколения, обладающих улучшенными механическими и электрическими характеристиками.

Основными преимуществами, у проводов нового поколения, являются:

- повышенная электропроводность;
- большая механическая прочность;
- небольшая погонная масса;
- малые температурные удлинения;
- устойчивость к старению и ветровым воздействиям.

В качестве сердечников в проводах нового поколения применяются стальные оцинкованные или плакированные алюминием проволоки, проволоки из различных сплавов на основе стали, композитные материалы. Сердечник из композитных материалов может представлять собой монолитный стержень круглого сечения или скрученные в прядь элементарные стержни, выполненные из композитного многокомпонентного материала, состоящего из матрицы (полимерной, металлической, углеродной и др.) и армирующих элементов (углеродное волокно, базальтовое волокно, стекловолокно, нитевидные кристаллы, тонкодисперсные частицы и др.), обеспечивающих необходимую механическую прочность. Виды современных проводов с повышенными характеристиками представлены на рисунке 1.

Марка провода	TACSR	(H) STACIR	ACSS	ACCC
Внешний вид				
Материал сердечника	Высокопрочная оцинкованная сталь	Алюминий, покрытый сплавом Инвар	Высокопрочная сталь	Высокопрочные углеродные волокна скручены в эпоксидной матрице + барьер от термоокисления
Материал наружных повивов	Терморезистивный алюминиевый сплав (TAL)	Супертерморезистивный алюминиевый сплав (ZTAL)	Термообработанный алюминиевый сплав	Термообработанный алюминиевый сплав
Длительно допустимая рабочая температура	150°C	210°C	250°C	200°C

Рисунок 1- Провода с повышенными механическими и электропроводными характеристиками

Для крепления проводов и тросов была предложена конструкция натяжного подвеса, основу которой составляет силовая часть в виде двух прядей спирального типа с взаимно противоположным направлением навивки. Силовые пряди монтируются или непосредственно на сердечнике одна на другую, или на предварительно смонтированном протекторе и посредством стандартной сцепной арматуры крепятся к опоре. Параметры силовых прядей натяжного провеса рассчитаны таким образом, что при нагружении растягивающим усилием (до 800 кН) возникающие в них моменты кручения компенсируют друг друга.

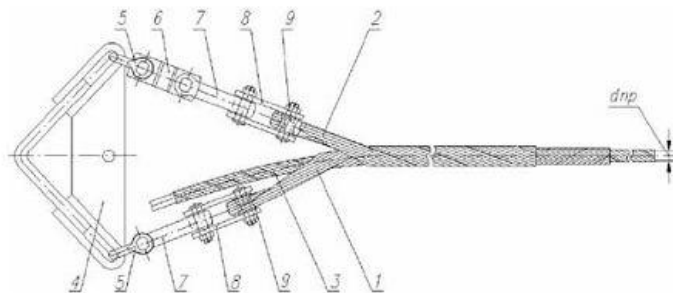


Рис. 1. Конструктивное исполнение натяжного подвеса

- |                            |  |
|----------------------------|--|
| 1 - Нижняя силовая прядь.  | 6 - Звено промежуточное трёхлапчатое типа ПРТ. |
| 2 - Верхняя силовая прядь. | 7 - Звено промежуточное вывернутое типа ПРВ.   |
| 3 - Протектор.             | 8 - Звено промежуточное двойное типа 2 ПР.     |
| 4 - Коромысло типа 2 КУ.   | 9 - Коуш специальный роликовый типа КР.        |
| 5 - Скоба типа СК.         |  |

Рисунок 2- Конструкция натяжного подвеса

Провода нового поколения стали использовать в местах больших переходов ВЛ, например, водохранилище либо через водоемы, реки, технические сооружения.

К примеру, при строительстве перехода двухцепной ВЛ 220 кВ через Камское водохранилище выполнялся пролет протяженностью 1480 м. при этом масса применяемых опор составляла 410 тонн каждая. При использовании высокопрочного провода уменьшились габариты и масса сооружения, а также стрела провеса, масса применяемых опор снизилась до 155 тонн. Таким образом, сметная стоимость строительства при использовании сталеалюминиевого провода составила 192.70 млн. руб., а при использовании высокопрочного провода стоимость строительства составила 159.26. млн. руб.

# ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ПОСТРОЕНИЯ КАРТИНЫ ОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Мигалёв И.Е. – аспирант, Титов Е.В. – к.т.н.

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Одним из направлений разработки в области анализа опасности электромагнитной обстановки сегодня — это построение и анализ различных картин опасности электромагнитной обстановки [1].

Наиболее простые способы представления картины опасности — это так называемые точечные и цилиндрические картины.

Точечная картина опасности, пример которой приведён на рисунке 1, представляет собой простую проекцию параметра электромагнитного поля на плоскость. Как правило, при представлении картины опасности производят также переход ко времени допустимого пребывания, так что картина опасности показывает это время для разных зон помещения, например, в часах или минутах.

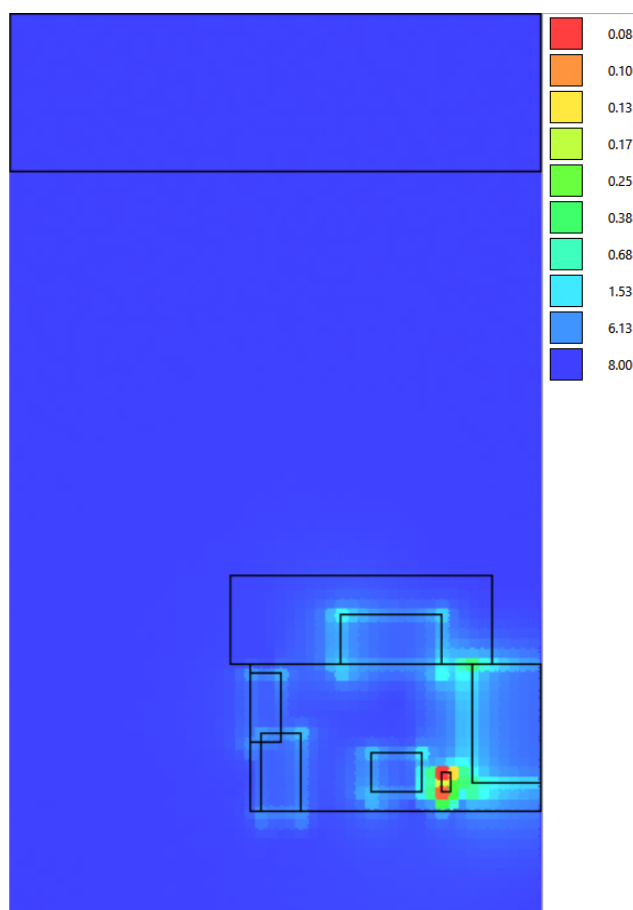


Рисунок 1 — Точечная картина опасности электромагнитного излучения в помещении

Цилиндрическая картина опасности, пример которой приведён на рисунке 2, представляет собой немного более сложную вариацию проекции на плоскость. При выборе цвета каждой точки изображения, выбирается максимальный показатель опасности в цилиндре определённого заранее заданного радиуса, который строят в данной точке.

Построение точечной и цилиндрической картин опасности на практике сопряжено с некоторыми алгоритмическими сложностями.

На практике обычно строят изображения достаточно высокого разрешения, масштабы изображений принимают порядок приблизительно 1 пиксель на 0,5 см помещения. В то же время, современные алгоритмы моделирования, пригодные для построения моделей



помещений, обладают разрешением порядка 5 см, что означает, что вычислительная сетка при моделировании имеет размер шага в 5 см, и, соответственно, все результаты моделирования имеют только с этой точностью.

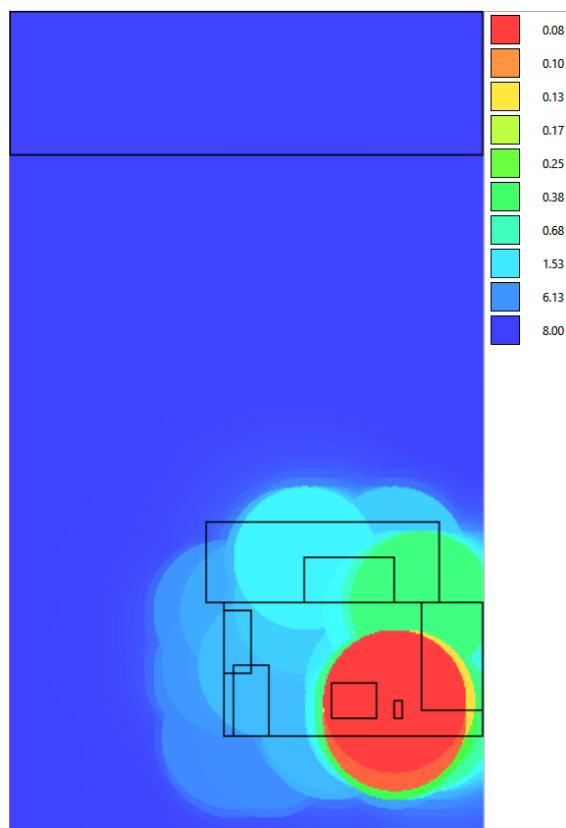


Рисунок 2 — Цилиндрическая картина опасности электромагнитного излучения в помещении

При этом, несмотря на то, что разрешение вычислительной сетки меньше разрешения изображения, количество точек всё равно достаточно велико. Например, количество узлов вычислительной сетки для помещения 2 x 4 x 8 м составит 512000 шт.

Очевидные сложности вызывает алгоритм определения цвета каждой точки изображения в случае построения цилиндрической картины опасности. В наивном случае на каждом шаге вычисления (т. е. для каждой из точек строящегося изображения) требуется проверять на принадлежность цилиндру все точки модельной сетки. Это означает, что для построения изображения 512 x 512 пикселей потребуется 134 миллиарда шагов. Даже современное оборудование требует достаточно больших временных затрат на осуществление такого большого количества вычислений.

Простейшая оптимизация может состоять в построении двух упорядоченных списков, в которых сохраняются координаты точек по осям X и Y. Затем в ускоренном режиме отбрасываются точки, которые не входят в параллелепипед, описанный вокруг цилиндра; для каждой точки внутри параллелепипеда проводится обычная проверка на вхождение в цилиндр.

С учётом описанной выше оптимизации время построения простых цилиндрических картин электромагнитной опасности на четырёхъядерном процессоре Core i7 может составлять до 20 минут для помещения небольших размеров.

Этой оптимизации недостаточно, если требуется строить большое количество картин опасности для одного и того же помещения, т. к. алгоритм не позволяет избавиться от шагов совсем, а просто упрощает некоторые шаги алгоритма, так что оценка вычислительной сложности алгоритма остаётся той же самой. Ввиду этого предлагается оптимизация,



которая сокращает время поиска точек: использование  $K$ -мерных деревьев [2] (применительно к задаче  $K = 2$ , так что дальше деревья именуются двухмерными).

Двухмерное дерево представляет собой структуру данных, которая позволяет быстро (за логарифмическое время) находить узлы и диапазоны узлов по координатам. В частности, достаточно быстро осуществляются следующие виды запросов:

1. Поиск всех узлов на заданном расстоянии от центра — позволяет быстро найти все точки изображения, размещающиеся внутри цилиндра или пикселя.
2. Поиск ближайшей точки к заданным координатам — позволяет быстро определять цвета пикселей на значительно разреженных моделях электромагнитного поля (т. е. таких моделях, разрешение которых превышает разрешение получаемых изображений, что на практике встречается в большинстве случаев).

Применение описанной оптимизации к построению цилиндрических и точечных картин опасности электромагнитного поля позволяет значительно ускорить построение этих картин — во время испытаний алгоритмов время построения цилиндрической картины сократилось с 20 минут для разрешения  $256 \times 256$  пикселей до 20 секунд для разрешения  $512 \times 512$  пикселей, то есть при возможности увеличении площади изображения в 4 раза затраты времени упали в 60 раз. Полученный алгоритм является одним из элементов разрабатываемого технологического модуля для комплексного контроля электромагнитной обстановки на объектах АПК.

#### Список использованных источников

1. Сошников А.А., Мигалёв И.Е. Автоматизация интегрированного контроля электромагнитной обстановки на основе технологической платформы // Ползуновский вестник. 2014. Т. 1, № 4.
2. Bentley J.L. Multidimensional binary search trees used for associative searching // Communications of the ACM, 18 (9): 509. 1975.

### ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ

Мигалёв И.Е. – аспирант, Титов Е.В. – к.т.н.,

Сальников А.В. – студент гр. Э-23, Караваев А.Г. – студент гр. Э-23

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В современных условиях сложились предпосылки активного развития сельскохозяйственного производства, в том числе, за счет расширения использования электротехнологий. При этом положительный эффект достигается с помощью источников электромагнитного излучения, которые в ряде случаев создают электромагнитные поля с возможным превышением предельно допустимых уровней иногда в десятки раз [1].

В последнее время активно ведётся работа над разработанной концепцией контроля электромагнитной обстановки на объектах агропромышленного комплекса. В соответствии с этой концепцией должны проводиться измерения параметров электромагнитного поля, а на основании результатов измерений строиться компьютерные модели электромагнитной обстановки.

Для проведения измерений используется разработанный технологический модуль, который включает в свой состав различное сертифицированное измерительное оборудование, персональный компьютер, а также разработанное для него программное обеспечение.

Компьютерное моделирование электромагнитной обстановки проводится с использованием метода конечных разностей во временной области [2–4]. Целью данной работы является анализ точности компьютерного моделирования электромагнитной обстановки представленным способом.

Для проверки точности была проведена серия измерений для одного источника электромагнитного поля — блока питания ноутбука. Были замерены значения параметров напряжённости электромагнитного поля на частоте 30 кГц на расстояниях от 0 см (т. е. вплотную к поверхности блока питания) до 1 м. Также были построены несколько компьютерных моделей данного блока питания, находящегося в пустом помещении.

При моделировании использовались только результаты замеров вплотную к поверхности блока питания. Результаты замеров на остальных расстояниях при моделировании не использовались; эти данные использовались при проверке результатов моделирования.

Были построены следующие три модели электромагнитного поля.

1. Модель, полученная с помощью COMSOL Multiphysics 5.0, в соответствии с рекомендациями к методике [5].
2. Модель, построенная с использованием рассматриваемого технологического модуля, с размером пространственной сетки 10 см.
3. Модель, построенная с использованием рассматриваемого технологического модуля, с размером пространственной сетки 5 см.

Моделирование по данным, обрабатываемым технологическим модулем, проводилось в вычислительной среде OpenEMS.

Результаты моделирования представлены на рисунке 1.

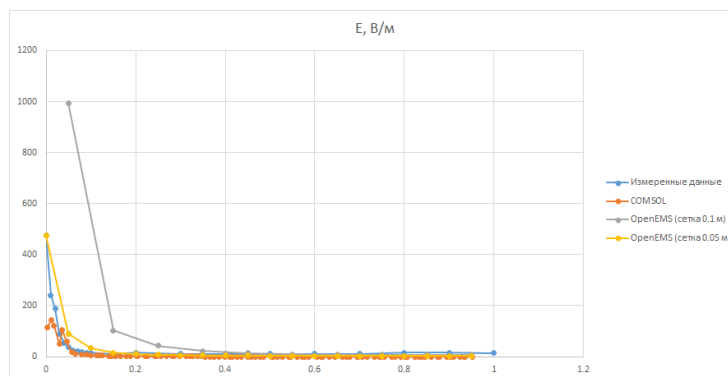


Рисунок 1 — Сравнение результатов моделирования разными способами

Из представленного графика видно, что модель с шагом сетки 0.1 м предоставляет недостаточную точность, поэтому из дальнейшего рассмотрения модели с таким шагом могут быть исключены. На рисунке 2 представлен график без учёта этой модели.

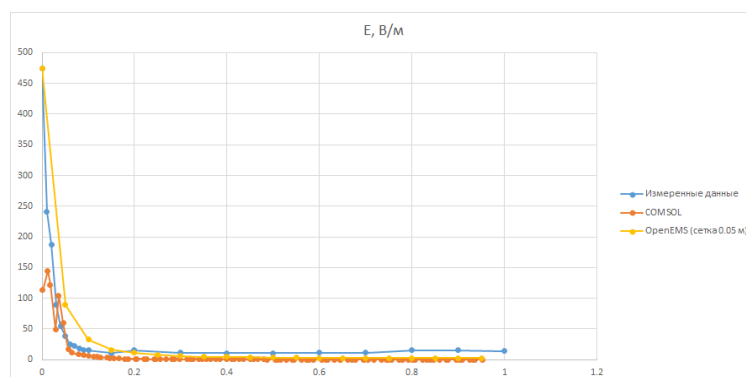


Рисунок 2 — График сравнения значений без модели с шагом 0,1 м

Из представленных данных можно сделать следующие выводы:

1. Точность модели в OpenEMS с размером сетки 0.1 м и больше не является достаточной в сравнении с другими способами моделирования.

2. Точность модели в OpenEMS с размером сетки 0.05 м является сравнимой с точностью модели в COMSOL Multiphysics 5.0; точность достаточна для практического применения моделей.
3. Обе модели не учитывают наличия фонового уровня излучения, и поэтому резко теряют точность на расстояниях более 0.3 м от источника излучения, где фоновое излучение преобладает.

#### Список использованных источников

1. Сошников А.А., Никольский О.К., Воробьев Н.П., Титов Е.В., Мигалёв И.Е. Электромагнитная безопасность технологических процессов АПК: Монография. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2012. 108 с.
2. Боголюбов А.Н., Буткарев И.А., Дементьева Ю.С. Численное моделирование двумерных фотонных кристаллов // Журнал радиоэлектроники. 2006. № 5.
3. Мигалёв И.Е. Практическое применение метода конечных разностей во временной области к моделированию электромагнитного поля. // Ползуновский вестник, № 4. 2012.
4. Дейнега А.В. Численное моделирование и компьютерный дизайн оптических свойств наноструктурированных материалов: диссертация к.т.н. Москва: Российский научный центр "Курчатовский институт", 2010.
5. Титов Е.В., Мигалёв И.Е., Клепиков А.С. Исследование электромагнитной безопасности мониторов персональных компьютеров — безопасность жизнедеятельности глазами молодежи: Сборник материалов II-ой всероссийской студенческой конференции (с международным участием). Челябинск, 2011.

#### РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Мигалёв И.Е. – аспирант, Титов Е.В. – к.т.н.,

Сальников А.В. – студент гр. Э-23, Караваев А.Г. – студент гр. Э-23

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова (г. Барнаул)

На сегодняшний день актуальной является проблема нормирования воздействия электромагнитного поля (ЭМП) на человека. Разработаны различные нормативные документы [1–10], которые декларируют нормативные значения основных параметров электромагнитной обстановки:

- напряжённость электрического поля  $E$ , В/м;
- напряжённость магнитного поля  $H$ , А/м;
- плотность потока энергии ППЭ, Вт/м<sup>2</sup>.

Современные методы моделирования электромагнитной обстановки (ЭМО) [11–13] позволяют осуществлять численное моделирование на основании известных показателей  $E$  и  $H$ . Таким образом, для того, чтобы осуществлять практическое моделирование электромагнитной обстановки, необходимо также научиться моделировать распределение плотности потока энергии в моделируемом пространстве. Тогда значения модели можно будет сравнить с предельно допустимыми уровнями, и делать соответствующие выводы о времени допустимого пребывания человека в электромагнитном поле.

Плотность потока энергии также называют вектором Пойнтинга [14]. Вектор Пойнтинга связан с величинами  $E$  и  $H$  следующим соотношением:

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H},$$

где  $\vec{S}$ ,  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$  — соответственно, вектор Пойнтинга, напряжённость электрического поля и напряжённость магнитного поля в векторной форме.

При моделировании распространёнными способами отсутствует возможность учесть вектор Пойнтинга в явном виде; алгоритмы моделирования используют в качестве входных

данных значениях  $\vec{E}$  и/или  $\vec{H}$ ; есть также возможность учитывать обе величины одновременно.

Отсюда следует, что для того, чтобы провести моделирование с учётом значений вектора Пойнтинга в пространстве, нужно на одной частоте (и для одного и того же набора точек) знать как минимум две величины из списка  $\vec{S}$ ,  $\vec{E}$ ,  $\vec{H}$ . Например, если имеется возможность измерить значения  $\vec{S}$  и  $\vec{E}$ , то соответствующие значения  $\vec{H}$  во всех интересующих точках можно вычислить, а затем провести моделирование уже для изученных величин  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$ .

В соответствии с вышесказанным предлагается следующая схема по исследованию электромагнитного поля на высоких частотах (на которых, в соответствии с действующими нормативными документами, требуется измерение ППЭ):

1. Проведение измерения для  $\vec{S}$  во всех узловых точках пространства.
2. Проведение измерений для  $\vec{E}$  или  $\vec{H}$  на той же частоте во всех узловых точках пространства (чего именно из пары — зависит от наличия измерительного оборудования).
3. Вычисление второго компонента пары  $\vec{E}$ ,  $\vec{H}$  в каждой точке арифметически.
4. Проведение численного моделирования по известным значениям  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$ .
5. По результатам моделирования — вычисление значения  $\vec{S}$  во всех точках моделируемого пространства.
6. Стандартный переход ко времени допустимого пребывания по ППЭ в соответствии с методиками, разработанными на основе СанПиН.

#### Список использованных источников

1. СанПиН 2.2.4.1191-03. электромагнитные поля в производственных условиях, 2003.
2. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03. гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических устройств, 2003.
3. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы, 2003.
4. МГСН 2.03-97. допустимые параметры электромагнитных излучений в помещениях жилых и общественных зданий и на селитебных территориях, 1997.
5. МУК 4.3.677-97. определение уровней электромагнитных полей на рабочих местах персонала радиопредприятий, технические средства которых работают в НЧ, СЧ и ВЧ диапазонах, 1997.
6. МУК 4.3.679-97. определение уровней магнитного поля в местах размещения передающих средств радиовещания и радиосвязи кило-, гекто- и декаметрового диапазонов, 1997.
7. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96. электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ), 1996.
8. МГСН 12.1.006-84. электромагнитные поля радиочастот. допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля, 1984.
9. МУК 4.3.1167-02. определение плотности потока энергии электромагнитного поля в местах размещения радиосредств, работающих в диапазоне частот 300 мГц—300 гГц, 2002.
10. Постановление 848-70. санитарные правила и нормы при работе с источниками электромагнитных полей высоких, ультравысоких и сверхвысоких частот.
11. Боголюбов А.Н., Буткарев И.А., Дементьева Ю.С. Численное моделирование двумерных фотонных кристаллов // Журнал радиоэлектроники. 2006. № 5.
12. Мигалёв И.Е. Практическое применение метода конечных разностей во временной области к моделированию электромагнитного поля. 2012. № 4.
13. Дейнега А.В. Численное моделирование и компьютерный дизайн оптических свойств наноструктурированных материалов: диссертация к.т.н. Москва: Российский научный центр “Курчатовский институт”, 2010.

14. Сивухин Д.В. Общий курс физики. в 5 т. том III. электричество. 4-е изд., стереот. М.: ФИЗМАТЛИТ; Изд-во МФТИ, 2004.

ЛОГИКО-ЛИНГВИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РИСКОВ ОПАСНОСТИ  
ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОЙ СИСТЕМЫ НА ПРИМЕРЕ ООО  
"АЛЬТАИР-АГРО", РЕБРИХИНСКИЙ РАЙОН, АЛТАЙСКИЙ КРАЙ

Овечкина Ю. А. - студент, Никольский О.К. - д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Неуклонный рост аварий, электротравматизма и пожаров в системах электроснабжения (включая и технологическое электрооборудование) обусловлен многими причинами, в том числе несовершенством научно-методического обеспечения в области техногенной безопасности электроустановок (ЭУ) потребителей. Отсутствует единая методология, базирующаяся на унифицированной трактовке риска ЭУ, позволяющая проводить комплексный учет факторов возникновения опасностей различной природы человеко-машинной системы "человек-электроустановка-персонал" (Ч-ЭУ-С). К этим факторам относятся: а) ошибки персонала (персонал, население) - человеческий фактор; б) отказы электроустановок - технологический фактор; в) негативное (сверхнормативное) воздействие внешней среды.

В основе решения практических задач, направленных на снижение (предупреждение) техногенных опасностей лежит методология оценки и управления рисками. При этом риск рассматривается как двухпараметрическая стохастическая модель, сочетающая в себе вероятность опасного события и его последствия (материальные ущербы и социальные потери).

Целью работы является разработка метода оценки и управления техногенными рисками рассматриваемой ЧМС (Ч-ЭУ-С). Процедура анализа риска включает в себя следующие этапы: а) идентификацию техногенных опасностей, т.е. выявление инициирующих событий, которые могут привести к негативным последствиям (электротравме, аварии, пожару); б) формирования перечня рискообразующих факторов (РОФ) компонентов системы (Ч-ЭУ-С); в) получения вероятностных характеристик опасных событий в количественном виде (точечные или интервальные оценки) или в качественном (с помощью лингвистических переменных); г) оценку ущербов (потерь); д) оценку риска - анализ частот (вероятностей) и последствий, определение его уровня и сопоставление с нормативным (приемлемым) значением; е) управления риском - выбор оптимального варианта функционирования ЧМС, обеспечивающего нормативное значение риска в условиях заданных ограничений.

Рассматриваемая ЧМС, обладающая неполной и неопределенной информацией, может быть описана логико-лингвистическим методом, в основе которого лежат лингвистические переменные (ЛП) - качественные значения, представленные с помощью естественного языка.

По своей сути, ЛП представляет собой дескриптивный картеж

$$LV = [L, T, X, G, M], \quad (1)$$

где L – лингвистическая переменная; T- множество ее значений (терм-множество); X – универсальное множество нечетких переменных; G – синтаксическая процедура образования новых термов, позволяющая из простых атомарных термов строить составные термы,  $G:T \rightarrow T^*$ , где  $T^*$ - расширенное терм-множество; M – семантическая процедура, формирующая нечеткие множества для каждого терма T.

Нечеткая логико-лингвистическая модель (1) реализуется в экспертно - программную систему, предназначенную для автоматизации расчетов техногенных рисков при проектировании систем безопасности ЭУ или принятии решений в процессе эксплуатации ЧМС. В состав ЭС входят блок фаззификации, база правил, база знаний, блок принятия

решений и блок дефаззификации. ЭС, по существу, представляет собой модель поведения эксперта при принятии решений, т.е. обеспечивает персонал информацией о техническом состоянии ЭУ реального производственного объекта, включая интерактивное проведение диагностики причин нарушений и выбор необходимых действий по их устранению. При этом лицо, принимающее решение опирается на базу знаний, представляющую собой структурированные и интерпретированные сведения, факты и правила, изложенные в системе нечетной логики [1].

#### Выводы

Рассмотренная когнитивно-лингвистическая процедура управления техногенными рисками ЧМС (Ч-ЭУ-С) при изменении значений рискообразующих факторов позволяет осуществлять прогнозирование сценариев развития опасных техногенных ситуаций.

#### Литература

1. Гаврилова Т.А. Логико-лингвистическое управление как введенные в управление знаниями [Текст]/ Т.А.Гаврилова // Новости искусственного интеллекта. - 2002, - № 6, - С. 34-40.

### ДИАГНОСТИКА ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРА

Шевелев И. В. студент группы Э-31, Компанеец Б.С. - к.т.н., доцент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Современное состояние энергетической системы России характеризуется большими единичными мощностями энергообъектов, усложнением электротехнического оборудования, и следующим из этого возрастанием требований к качеству и надежности энергоснабжения. В нашей стране свыше восьмидесяти процентов электроэнергии, вырабатываемой на станциях, по пути до потребителя претерпевают от одной до восьми трансформаций, в зависимости от протяженности линии.

Применяемые в настоящее время методики, не позволяют осуществлять непрерывный контроль за изменением состояния изоляции обмоток трансформаторов и автотрансформаторов и определять ток утечки протекающий через обмотку изоляции.

Такие как оценка механического состояния обмоток силовых трансформаторов и реакторов при помощи приборов «Импульс-9» и «FRAX-101». Работа прибора основана на методе частотного анализа и имеет два подхода: импульсный и частотный. Каждый из двух подходов имеет свои достоинства и недостатки. Так, частотный подход имеет более высокую чувствительность на низких частотах (что важно для диагностики состояния магнитной системы), проще в эксплуатации и интерпретации результатов, но процедура диагностики занимает больше времени по сравнению с импульсным подходом.

«DAYCOR SUPERB» - представляет собой профессиональное портативное устройство обнаружения коронных разрядов и электрической дуги в условиях дневного освещения для повышения качества и рационализации технического обслуживания. DAYCOR SUPERB является двухспектральной солнечно-слепой камерой предназначенной для обнаружения слабых УФ-излучений в светлое время суток с высоким отношением сигнал-фон.

Газовый хроматограф «Кристалл 5000.2» - предназначен для анализа сложных многокомпонентных смесей и предназначен для анализа газов, скапливающихся в газовом реле трансформатора.

Тепловизионный контроль - для проведения диагностики используется тепловизор – инфракрасная термографическая система, которая бесконтактно регистрирует распределения радиационной температуры на поверхности объекта. Это позволяет получить информацию о теплопотерях с поверхности объекта и о главных характеристиках, которые определяют эффективность энергопередачи (энергообразования) при функционировании обследуемого объекта.

Недостатки методов, используемых в данное время заключается в невозможности вести контроль изоляции обмоток трансформатора, и, тем более, осуществлять непрерывный контроль, таким образом, остается необходимость проведения плановых работ по проверке изоляции обмоток трансформатора.

В связи с этим предлагается новый метод контроля состояния изоляции обмоток трансформатора в сетях с глухо- и эффективно заземлённой нейтралью, в основу которого положен метод работы дифференциальной защиты трансформатора и метод непосредственной оценки тока. Схема устройства представлена на рисунке 1.

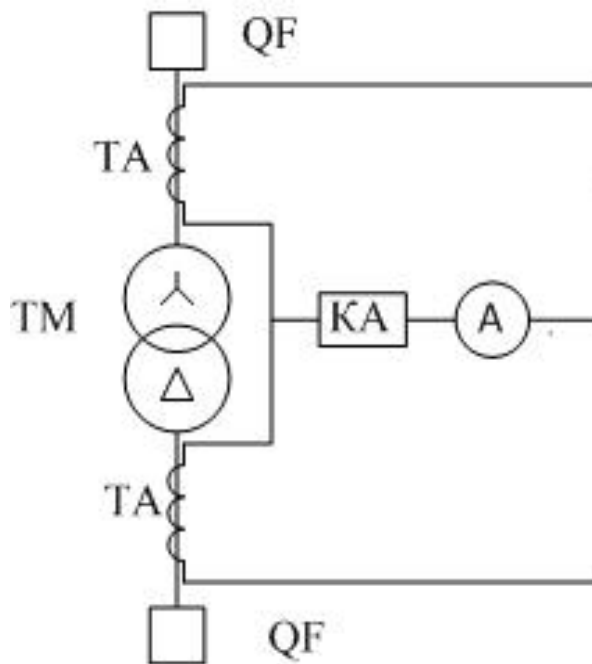


Рисунок 1 – Схема защиты

На низкой и высокой стороне трансформатора в каждой фазе установлены трансформаторы тока для дифференциальной защиты. При возникновении тока внутри трансформатора появляется небаланс токов низкой и высокой стороны, что приводит к срабатыванию дифференциальной защиты. Одним из видов такого тока является ток утечки через изоляцию, дифференциальная защита на этот ток не реагирует, так как её уставка значительно выше. Но при этом такое включение измерительных трансформаторов, при их высокой точности, позволит фиксировать эти токи. Таким образом, качество изоляции можно оценить по величине тока утечки через данную изоляцию. Возрастание тока утечки будет сигнализировать об ухудшении состояния изоляции и, соответственно, о необходимости проведения диагностических работ, для выявления причин появления дополнительных токов. В результате мы переходим от планово-предупредительных работ к работам по фактической необходимости и тем самым экономим ресурсы предприятия.

В сетях с изолированной нейтралью токи утечки через изоляцию замыкаются не на землю, а на соседнюю фазу, и ток небаланса не появляется. При этом обеспечить постоянное замыкание тока через землю в таких сетях нельзя, т.к. это будет означать переход сети в ненормальный режим работы, но для проведения измерения в таких сетях предлагается временно заземлять сеть на время проведения проверки.

Таким образом, разработанный метод позволяет вести непрерывный контроль за внутренним изменением состояния изоляции обмоток трансформатора, и проводить диагностику трансформатора в сетях с глухо- и эффективно заземлённой нейтралью, по фактической необходимости.



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМОЙ ВЕЛИЧИНЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ КОНТАКТНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Шевелев И. В. - студент группы Э-31, Котов С.А. - студент группы 8Э-52,

Компанеец Б.С. - к.т.н., доцент

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова (г. Барнаул)

В настоящее время в нашей стране острой остается проблема контактных соединений в электрических сетях. Применяемые в настоящее время методики оценки состояния контактных соединений не позволяют выявлять ряд дефектов, так как они основаны на сравнении контактных соединений, работающих в одинаковых условиях.

Неправильная оценка величины и использование контактного соединения, обладающего предельным значением сопротивления приводит к повышенному нагреву в зоне контакта. Вследствие этого происходит ускоренное разрушение контактной поверхности, образование на них большего количества оксидных пленок и рост сопротивления контактного соединения. А за этим следует ещё больший нагрев. При протекании токов короткого замыкания на контактной поверхности возникает высокая температура и поверхность контактного соединения оплавляется. Вследствие этого идет образование мостиков из металла, однако при охлаждении мостики разрушаются и сопротивление контактного соединения растет.

Помимо этого повышенный нагрев проводника ускоряет старение изоляции проводника, в результате чего ухудшаются её диэлектрические свойства. Следствием этого могут быть электрический пробой изоляции и повреждение электроустановки, а при наличии сгораемой изоляции и пожаро- и взрывоопасной среды – пожар или даже взрыв.

Для контактов одновременно нормируется допустимая температура нагрева и допустимая величина сопротивления. На основе данных о параметре контактов произведем расчет сопротивления различных контактных соединений.

Для определения допустимой величины сопротивления контактного соединения необходимо провести расчет теплоотдачи по методу расчета теплового потока нагретого тела. Теплоотдача происходит путем конвекции, теплопроводности и теплового излучения от нагретого контактного соединения к окружающим поверхностям.

Расчет энергии выделяемой на контактом соединении при протекании тока производится по расчету нагрева контактных частей электрических аппаратов [1]. И на основе уравнения теплового баланса определяется сопротивление при котором достигается допустимая температура, при заданных условиях охлаждения.

Для примера произведем расчет нагрева наконечника ТМЛ для кабеля сечением 300 мм<sup>2</sup>.

$H=0.1$  м – длина контактной зоны наконечника кабеля;

$L=0.065$  м – ширина контактной зоны наконечника кабеля;

$\delta=0.1$  м – расстояние от поверхности контакта до окружающих поверхностей;

$R=0.0128$  м – приведенный радиус контактной поверхности;

$T = 90$  °С – допустимая температура нагрева поверхности;

$\Delta\theta = 50$  °С – допустимое превышение температуры.

Для определения формулы расчета конвекции и теплопередачи необходимо определить коэффициенты GR и PR

$$GR * PR = \frac{g * \beta * Y * l^3}{\nu * at},$$

где  $g$  - ускорение свободного падения,

$\beta$  - коэффициент объемного расширения,

$Y$  - превышение температуры,

$l$  - характерный размер нагретого тела,

$\nu$  - кинематическая вязкость,

$at$  – температуропроводность.

$$GR * PR = \frac{9,81 * 0,0031 * 50 * 0,1^3}{1,91 * 10^{-5} * 1,51 * 10^{-5}} = 5,29 * 10^6 > 10^6.$$

Формула для теплового потока путем конвекции и теплопередачи будет иметь вид

$$\Phi_k = 0,266 * A_2 * V_{\text{ц}} * (\theta_1 - \theta_2)^{1,28},$$

где  $A_2$  – газовый комплекс,

$V_{\text{ц}}$  – геометрический комплекс воздушной цилиндрической прослойки,

$$V_{\text{ц}} = \frac{\delta^{0,84}}{\ln\left(1 + \frac{\delta}{R}\right)},$$

$\Delta\theta$  – перепад температуры в прослойке.

Значение теплового потока от излучения тела равно

$$\Phi_{\text{и}} = 0,67 * 10^{-8} * \epsilon * (\theta_1^4 - \theta_2^4)^{1,28},$$

где  $\epsilon$  – степень черноты излучения, равная 0,55 для окисленной меди,

$\theta_2$  - температура излучателя,

$\theta_1$  - температура окружающей излучатель газовой среды.

Полное значение теплового потока

$$\Phi_{\text{общая}} = \Phi_k + \Phi_{\text{и}} = 58,34 \text{ Вт/М}^2.$$

Теплоотдача с поверхности контактного соединения

$$P = \Phi_{\text{общая}} * S,$$

где  $S$  – площадь поверхности.

Мощность выделяемая в контактном соединении

$$P = I^2 * R$$

Из уравнения теплового баланса определяем допустимое сопротивление контактного соединения:

$$R = \frac{P}{I^2},$$

где  $I$  – номинальный ток.

Значение получилось  $R = 0,04 * 10^{-5}$  Ом

По аналогичной методике был произведен расчет допустимых сопротивлений для других типов контактных соединений, результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сопротивление оконцовок кабелей

Вид контакта	$R, 10^{-5}$ Ом
Оконцовка провода 4 мм <sup>2</sup> (медь)	1.5367
Оконцовка провода 10 мм <sup>2</sup> (медь)	0.404
Оконцовка провода 35 мм <sup>2</sup> (медь)	0.403
Оконцовка провода 300 мм <sup>2</sup> (медь)	0.04

При проведении плановых работ по обслуживанию ПС, были произведены измерения сопротивлений контактных соединений. Величина сопротивления для наконечника кабеля 300 мм<sup>2</sup> составила  $8 * 10^{-6}$  Ом, что превышает расчетное значение в 20 раз и говорит о предположительно значительном превышении допустимой температуры нагрева при эксплуатации под номинальной нагрузкой.

#### Список использованных источников

1. Афанасьев, В. В. Справочник по расчету и конструированию контактных частей силовых электрических аппаратов [Текст] / Афанасьев, В. В. Ленинград: Энергоатомиздат, 1988. 378 с.

## ВЫБОР МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЗАЩИТЕ ОТ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Титов Е.В. – к.т.н., доцент, Мигалёв И.Е. – соискатель учёной степени к.т.н.,

Нурбатырова Л.Н. – студент, Львов П.С. – студент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Методика выбора защитных мероприятий в условиях влияния нескольких источников ЭМИ в настоящее время четко не определена, а процесс внедрения технических средств защиты является достаточно трудоемким и сопряжен в ряде случаев со значительными материальными затратами.

Существующие средства защиты от ЭМИ не позволяют обеспечить эффективное экранирование от всех составляющих электромагнитного поля (ЭМП). Выбор защиты осложняется необходимостью одновременного учета нескольких частот излучения, электрических и магнитных свойств материалов экрана, его конструкции, геометрических размеров и т.п. [1].

Разработанный учеными АлтГТУ технологический модуль позволяет выбирать эффективную защиту в условиях влияния не только одного, но и нескольких источников ЭМИ с учетом экономических и технических ограничений [2, 3]. При этом используется принципиально новый подход, разработанный в рамках настоящего проекта и основанный на методике определения допустимого времени пребывания в зоне влияния нескольких источников ЭМИ, учитывающей усиление их результирующего действия.

Основные подходы к выбору защитных мероприятий различаются для населения и для производственных условий.

При выборе защитных мероприятий для населения на основании картины опасности ЭМИ в помещении, полученной с помощью технологического модуля, определяется допустимое время пребывания в отдельных зонах и при необходимости производится перестановка излучающего оборудования, обеспечивающая безопасное сочетание времени взаимодействия и удаленности от источников ЭМИ.

В случае обнаружения воздействия внешних источников ЭМИ дополнительно используется экранирование в соответствии с представленной ниже методикой защиты персонала, профессионально связанного с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМП.

В производственных условиях по результатам анализа пространственных картин ЭМП и карт опасности ЭМИ выявляются зоны влияния отдельных составляющих, а также зоны комплексного воздействия ЭМИ.

В зонах влияния отдельных составляющих электромагнитного поля радиочастотного диапазона при выборе защитных мероприятий используется следующий подход.

В диапазоне частот от 30 кГц до 30 МГц для защиты используются экраны на основе металлизированной ткани, хлопчатобумажной ткани с микропроводом, трикотажной ткани с полиамидом и проволокой, металлизированной фольги и металлической сетки.

В диапазоне частот от 30 МГц до 30 ГГц для снижения интенсивности ЭМИ в опасных зонах помещения используются сплошные металлические экраны, радиозащитные стекла с полупроводниковым покрытием, резиновые пластины, графитированный текстолит, а также экраны на основе металлизированной ткани, хлопчатобумажной ткани с микропроводом, металлизированной фольги и металлической сетки.

В отдельных случаях в зависимости от излучаемой мощности и взаимного расположения источника и рабочих мест для обеспечения защиты от ЭМИ в диапазоне частот 30 кГц - 30 ГГц рекомендуется использовать поглощающие экраны, выполненные из специальных материалов и обеспечивающие поглощение излучения соответствующей длины волны (замкнутая камера, щит, чехол, штора и т.д.) [1].

Экранирование смотровых окон, приборных панелей проводится с помощью радиозащитного стекла. Для уменьшения потока электромагнитной энергии через

вентиляционные жалюзи последние экранируются металлической сеткой, либо выполняются в виде заградительных волноводов [1].

В особо опасных случаях используется сочетание из проводящих (фосфористая бронза, медь, алюминий, свинец и другие металлы) и поглощающих материалов с элементами дополнительного экранирования.

Средства индивидуальной защиты (защитные очки, щитки, шлемы, защитная одежда, перчатки, обувь и т.п.) используют в случаях, когда снижение уровней ЭМИ радиочастотного диапазона с помощью общей защиты технически невозможно. Если защитная одежда изготовлена из материала, содержащего в своей структуре металлический провод, она может использоваться только в условиях, исключающих прикосновение к открытым токоведущим частям установок. При этом все части защитной одежды должны иметь между собой электрический контакт и должны изготавливаться из металлизированной или любой другой ткани с высокой электропроводностью и с санитарно-эпидемиологическим заключением.

При работе внутри экранированных помещений (камер) стены, пол и потолок этих помещений должны быть покрыты радиопоглощающими материалами. В случае направленного излучения допускается применение поглощающих покрытий только на соответствующих участках стен, потолка, пола [1].

В зонах комплексного воздействия ЭМИ используются комбинированные защитные мероприятия с учетом частоты каждой из влияющих составляющих ЭМП.

#### Использованные литературные источники

1. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ), 1996.

2. Сошников, А. А. Оценка безопасности помещений с несколькими источниками электромагнитного излучения [Текст] / А.А. Сошников, Е.В. Титов, И.Е. Мигалев // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век.: Сборник материалов IX-ой международной научно-практической конференции / Под редакцией д.т.н., проф. В.А. Голенкова, д.т.н., проф. А.Н. Качанова, д.т.н., проф. Ю.С., Степанова. – Орел: ООО «Издательский дом «ОРЛИК» и К», 2011.

3. Титов, Е. В. Анализ опасности электромагнитных излучений в помещениях [Текст] / Е.В. Титов // Вестник АГАУ. – Барнаул, 2012. – № 12 (98). – С. 94 – 97.

#### ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 0,38 кВ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Умаров Р.Ш., Цуканов А.В. - студенты гр. Э-23:, Каменев А.О. - студент гр. 8Э-52

Сошников А.А. – д.т.н., проф.

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Одной из причин низкой эффективности электрической защиты сельских сетей 0,38 кВ на основе предохранителей и автоматических выключателей является сложность реализации чувствительной защиты при низких значениях токов короткого замыкания (КЗ).

Малая кратность токов КЗ по отношению к параметрам срабатывания защиты увеличивает время существования в сети опасных аварийных режимов и повышает вероятность электропоражений людей и животных, а также возникновения пожаров. Применение устройств защитного отключения (УЗО) не решает проблему в полной мере, так как по принципу действия они не реагируют на однофазные КЗ на нулевой рабочий провод и междуфазные КЗ. Эти функции по-прежнему возлагаются на автоматические выключатели, с которыми комбинируются УЗО.

Для решения проблемы может быть предложен подход, предусматривающий повышение точности настройки электрической защиты под значения аварийных токов и изменение параметров элементов систем электроснабжения для обеспечения рационального уровня токов КЗ [1]. При этом термин «уровень токов КЗ» подразумевает совокупность токов КЗ на всех участках конкретной системы электроснабжения.

Первое направление обусловлено сохранением в эксплуатации большого количества автоматических выключателей, обладающих низкой электрозащитной эффективностью, например, серии АЕ 2000, из-за высокой кратности токов срабатывания электромагнитных расцепителей (ЭМР).

Второе направление предусматривает повышение токов КЗ до уровня, при котором зона срабатывания автоматических выключателей смещается в область чувствительности ЭМР, либо приближается к ней, оставаясь в зоне чувствительности тепловых расцепителей (ТР).

Повышение уровня токов КЗ возможно за счет снижения сопротивления цепи короткого замыкания путем проведения одного или нескольких из следующих мероприятий [1]:

- повышения мощности трансформаторов на потребительских подстанциях;
- использования силовых трансформаторов со схемой соединения обмоток низкого напряжения в «зигзаг»;
- увеличения сечения проводов воздушных линий 0,38 кВ;
- замены традиционных воздушных линий 0,38 кВ с неизолированными проводами воздушными кабелями (СИП);
- увеличения сечения алюминиевых проводов на участках внутренних электрических сетей;
- замены алюминиевых проводов на медные на участках внутренних электрических сетей.

В таблице 1 приведены результаты расчета токов однофазного КЗ в конце воздушной (ВЛ) и кабельной (КЛ) линий 0,38 кВ, сечением проводов 25 мм<sup>2</sup> и 95 мм<sup>2</sup>, протяженностью 100 м и 800 м, подключенных к трансформаторам мощностью 100 кВА, 250 кВА, 630 кВА при схемах соединения обмоток «звезда-звезда» и «звезда – зигзаг» и индуктивном сопротивлении системы 5 мОм.

Анализ результатов расчетов показывает, что для автоматических выключателей с  $I_n = 100$  А и типом характеристики С, которые, как правило, устанавливаются на головных участках линий, при минимально возможном сечении проводов 25 мм<sup>2</sup>, не всегда достигается даже нижняя граница токов срабатывания ЭМР (500 А) при КЗ в конце линии.

Ток КЗ в конце линии повышается на 30 ... 60 % при увеличении мощности трансформатора; на 12 ... 20 % при замене воздушной линии на кабельную или СИП; на 10 ... 50 % при использовании трансформатора со схемой включения вторичной обмотки в «зигзаг». В наибольшей степени на увеличение тока КЗ на 50 ... 130 % для линии длиной 100 м и на 140 ... 180 % для линии длиной 800 м влияет повышение сечения проводов (до 95 мм).

При малой протяженности головной линии использование одного или нескольких из этих мероприятий позволяет войти в зону срабатывания ЭМР.

При увеличении протяженности головной линии вероятность срабатывания ЭМР существенно снижается из-за слишком низких значений токов КЗ (таблица 1). Проведенные нами расчеты возможного времени срабатывания ТР автоматических выключателей различных типов, установленных на головных участках воздушных линий, показывают, что для верхних значений защитных характеристик регламентируемое [2] время (до 5 с) в большинстве случаев не обеспечивается. Поэтому требуется применять дополнительную защиту, например, с использованием реле, включаемого в рассечку нулевого провода [1].

Ситуация усложняется для внутренних электрических сетей. В таблице 2 приведены результаты расчетов токов однофазного КЗ в конце участков линий длиной 60 м, сечением 4 мм<sup>2</sup>, выполненных алюминиевым и медным проводом, для некоторых из рассмотренных сочетаний параметров ВЛ и силовых трансформаторов.

Таблица 1 - Результаты расчета токов однофазного КЗ в конце линий 0,38 кВ при различных параметрах внешней электрической сети

Параметры внешней сети		Величина тока КЗ в конце линии, А			
		При протяженности линии			
Тип линии	Мощность тр-ра/ схема соединения вторичной обмотки	100 м		800 м	
		Для сечения проводов		Для сечения проводов	
		25 мм <sup>2</sup>	95 мм <sup>2</sup>	25 мм <sup>2</sup>	95 мм <sup>2</sup>
ВЛ	100/Y	324	505	69	170
	250/Y	438	859	73	197
	630/Y	508	1189	74	209
КЛ	100/Y	365	547	85	213
	250/Y	518	989	91	256
	630/Y	619	1457	93	278
ВЛ	100/Z	492	1105	74	207
	250/Z	526	1295	75	212
	630/Z	564	1558	75	218
КЛ	100/Z	596	1332	93	274
	250/Z	646	1621	94	283
	630/Z	704	2059	95	294

Таблица 2 - Результаты расчета токов однофазного КЗ в конце линий 0,38 кВ при различных параметрах внешней и внутренней электрической сети

Параметры внешней сети		Величина тока КЗ во внутренней сети в конце линии, длиной 60 м сечением 4 мм <sup>2</sup> , А								
		При протяженности ВЛ								
Тип линии	Мощность тр-ра/ схема соединения вторичной обмотки	100 м				800 м				
		Для сечения проводов ВЛ				Для сечения проводов ВЛ				
		25 мм <sup>2</sup>		95 мм <sup>2</sup>		25 мм <sup>2</sup>		95 мм <sup>2</sup>		
ВЛ		Для электропроводки с материалом жил		Для электропроводки с материалом жил		Для электропроводки с материалом жил		Для электропроводки с материалом жил		
		Алюм.	Медь	Алюм.	Медь	Алюм.	Медь	Алюм.	Медь	
		100/Y	127	169	147	207	52	58	94	115
		250/Y	141	195	166	247	54	60	101	126
		630/Y	147	207	175	268	55	62	105	132

В рассмотренном примере значения токов КЗ при любой длине головной линии существенно ниже диапазонов срабатывания ЭМР выключателей серии АЕ (с номинальным током от 16 А) даже при проведении всех рассмотренных выше мероприятий. Но при малой длине этой линии (100 м) величина тока КЗ может достигать зоны срабатывания ЭМР для выключателей серии ВА с характеристикой типа В (от 3I<sub>н</sub> до 5I<sub>н</sub>), а, в некоторых случаях, с характеристикой типа С (от 5I<sub>н</sub> до 10I<sub>н</sub>), если номинальный ток выключателей не превышает 32 А. При большой длине линии в ряде случаев не будет обеспечена необходимая чувствительность ЭМР к току КЗ даже выключателей с номинальным током до 16 А.

Таким образом, регламентируемое [2] наибольшее допустимое время срабатывания защиты (0,4 с) во многих случаях может быть превышено.

С учетом изложенного, представляется целесообразным выбирать параметры систем электроснабжения 0,38 кВ, включая типы электропроводок во внутренней электрической сети, с учетом оценки эффективности электрической защиты. При этом повышение эффективности защиты достигается формированием рационального уровня токов КЗ и использованием автоматических выключателей с малой кратностью токов срабатывания ЭМР.

#### Литература

1. Сошников, А. А. Перспективные направления улучшения функциональных показателей систем сельского электроснабжения / А. А. Сошников, Б.С. Компанец // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век.: материалы XIII международной научно-практической интернет-конференции, 15 марта – 30 июня 2015 г., г. Орел / Под редакцией д-ра техн. наук, проф. О.В. Пилипенко, д-ра техн. наук, проф. А.Н. Качанова, д-ра техн. наук, проф. Ю.С. Степанова. – Орел: Госуниверситет-УНПК, 2015. – С. 50 -53.
2. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2003. – 176 с.

#### ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ УВЕЛИЧЕНИЯ СЕЧЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ ВЛ

Завьялова Т.Е., Малютина М.Н. - студенты гр. Э-23,

Компанец Б.С. - к.т.н., доцент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Распределительные сети 0,38-110 кВ сельских районов имеют протяженность 2,3 млн. км, в том числе 290 тыс. км напряжением 35-110 кВ, 1184 тыс. км линий напряжением 10(6) кВ, 826 тыс. км напряжением 0,38 кВ и около 500 тыс. трансформаторных пунктов 35-6/0,4 кВ. Для сравнения, протяженность ВЛ 220-750 кВ составляет около 300 тыс. км. [19].

Около 75% районных электрических сетей в России отработали свой ресурс. Дальнейшая эксплуатация более 650 тыс. км воздушных линий и 150 тыс. трансформаторных подстанций небезопасна [1].

В распределительных сетях практически не применяются средства и мероприятия, повышающие надежность, безопасность и качество электроснабжения. Также одной из главных проблем для таких сетей является их большая протяженность по сравнению с городскими сетями. И, как правило, в этом случае возникает проблемы, связанные с чувствительностью электрической защиты к токам короткого замыкания. Защита, установленная на КТП, неспособна почувствовать ток короткого замыкания. С учетом этого необходимо проводить реконструкцию сетей низковольтного электроснабжения. Рассмотрим задачу выбора варианта реконструкции системы электроснабжения более подробно.

Реконструкция линии зачастую сопровождается увеличением ее пропускной способности, а значит сечения проводников, при этом проводники большего сечения получают дорожку, но у них выше механическая прочность и надежность, меньше сопротивление и потери. При этом если предполагается дальнейшее использование заменяемых проводников, то их стоимость целесообразно тоже учитывать. Расчет стоимости замены проводников воздушной линии электропередач представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Расчет стоимости замены проводников ВЛ на большее сечение

Сечения проводников	Протяженность линии					
	100 м		400 м		800 м	
	Затраты, на замену, руб	Затраты, с использованием старого провода, руб	Затраты, на замену, руб	Затраты, с использованием старого провода, руб	Затраты, на замену, руб	Затраты, с использованием старого провода, руб
25-35	4029,1	1495,1	16116,6	5980,6	32233,2	11961,2



25-50	4956,1	2422,1	19824,6	9688,6	39649,2	19377,2
25-70	7274,1	4740,1	29096,6	18960,6	58193,2	37921,2
25-95	10926,1	8392,1	43704,6	33568,6	87409,2	67137,2
35-50	4956,1	1866,1	19824,6	7464,6	39649,2	14929,2
35-70	7274,1	4184,1	29096,6	16736,6	58193,2	33473,2
35-95	10926,1	7836,1	43704,6	31344,6	87409,2	62689,2
50-70	7274,1	3257,1	29096,6	13028,6	58193,2	26057,2
50-95	10926,1	6909,1	43704,6	27636,6	87409,2	55273,2
70-95	10926,1	4591,1	43704,6	18364,6	87409,2	36729,2

В населенных пунктах в последнее время при реконструкции все чаще используются самонесущие изолированные провода СИП. Расчет стоимости замены с применением СИП представлен в таблице 2.

При замене проводников линии электропередач на проводники большего сечения снижаются потери электроэнергии, расчет изменения потерь энергии представлен в таблицах 3 и 4.

Таблица 2 – Расчет стоимости замены проводников ВЛ на СИП

Сечения проводников	Протяженность линии					
	100 м		400 м		800 м	
	Затраты, на замену, руб	Затраты, с использованием старого провода, руб	Затраты, на замену, руб	Затраты, с использованием старого провода, руб	Затраты, на замену, руб	Затраты, с использованием старого провода, руб
25-СИП25	10514,5	7980,5	42057,9	31921,9	84115,9	63843,9
25-СИП35	17433,5	14899,5	69733,9	59597,9	139467,9	119195,9
25-СИП50	22550,5	20016,5	90201,9	80065,9	180403,9	160131,9
25-СИП70	31878,5	29344,5	127513,9	117377,9	255027,9	234755,9
25-СИП95	43545,5	41011,5	174181,9	164045,9	348363,9	328091,9
35-СИП35	17433,5	14343,5	69733,9	57373,9	139467,9	114747,9
35-СИП50	22550,5	19460,5	90201,9	77841,9	180403,9	155683,9
35-СИП70	31878,5	28788,5	127513,9	115153,9	255027,9	230307,9
35-СИП95	43545,5	40455,5	174181,9	161821,9	348363,9	323643,9
50-СИП50	22550,5	18533,5	90201,9	74133,9	180403,9	148267,9
50-СИП70	31878,5	27861,5	127513,9	111445,9	255027,9	222891,9
50-СИП95	43545,5	39528,5	174181,9	158113,9	348363,9	316227,9
70-СИП70	31878,5	25543,5	127513,9	102173,9	255027,9	204347,9
70-СИП95	43545,5	37210,5	174181,9	148841,9	348363,9	297683,9
95-СИП95	43545,5	33558,5	174181,9	134233,9	348363,9	268467,9

Стоит отметить, что при замене проводников на большее сечение происходит снижение потерь в питающей линии, таким образом, при малой нагрузке линии замен проводников нецелесообразна, а при нагрузке линии, приближающейся к допустимому току целесообразна замена проводников питающей линии. При использовании провода СИП того же сечения возникающие потери в СИП несколько больше потерь в проводе АС, это вызвано несколько большим сопротивлением СИП.

Таблица 3 – Изменение потерь при замене проводников ВЛ на большее сечение

Сечения проводников	Допустимый ток, А	Протяженность линии		
		100 м	400 м	800 м
		$\Delta W1-\Delta W2$ , Вт	$\Delta W1-\Delta W2$ , Вт	$\Delta W1-\Delta W2$ , Вт
25-35	70	1330644	5322576	10645152
25-50	70	2420913,6	9683654,4	19367308,8
25-70	70	3124867,2	12499468,8	24998937,6
25-95	70	3571277	14285107,2	28570214,4
35-50	85	1607591,4	6430365,6	12860731,2
35-70	85	2645563,8	10582255,2	21164510,4
35-95	85	3303790,2	13215160,8	26430321,6
50-70	110	1738334,4	6953337,6	13906675,2

50-95	110	2840693	11362771,2	22725542,4
70-95	140	1785638,4	7142553,6	14285107,2

Таблица 4 – Изменение потерь при замене проводников ВЛ на СИП

Сечения проводников	Допустимый ток, А	Протяженность линии		
		100 м	400 м	800 м
		$\Delta W1-\Delta W2$ , Вт	$\Delta W1-\Delta W2$ , Вт	$\Delta W1-\Delta W2$ , Вт
25-СИП25	70	-257544	-1030176	-2060352
25-СИП35	70	1167532,8	4670131,2	9340262,4
25-СИП50	70	2141907,6	8567630,4	17135260,8
25-СИП70	70	2991802,8	11967211,2	23934422,4
25-СИП95	70	3519768	14079072	28158144
35-СИП35	85	-240505,8	-962023,2	-1924046,4
35-СИП50	85	1196199,9	4784799,6	9569599,2
35-СИП70	85	2449361,7	9797446,8	19594893,6
35-СИП95	85	3227841	12911364	25822728
50-СИП50	110	-688974	-2755896	-5511792
50-СИП70	110	1409746,8	5638987,2	11277974,4
50-СИП95	110	2713497,6	10853990,4	21707980,8
70-СИП70	140	-532257,6	-2129030,4	-4258060,8
70-СИП95	140	1579603,2	6318412,8	12636825,6
95-СИП95	170	-303796,8	-1215187,2	-2430374,4

#### Литература

1. Магадеев, Э. В. Методика выбора оптимального варианта повышения надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / Э. В. Магадеев. – Москва, 2008. – 152 с.