

# АППРОКСИМАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ СРАБАТЫВАНИЯ АППАРАТА ЗАЩИТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ

Алексеев К.И. – студент гр. 8-Э-62, Нефедов С.Ф. – к.т.н.

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

В настоящее время, для определения времени срабатывания автоматических выключателей на напряжении до 1000 В используются графики кривых срабатывания, состоящие из верхних и нижних токо-временных характеристик аппарата защиты (АЗ). Таким образом, время срабатывания находится в некотором определенном интервале.

В ходе научной работы была поставлена задача перехода от существующей модели определения срабатывания электрической защиты, в основе которой лежит сравнение верхних, средних и нижних характеристик срабатывания аппаратов защиты и характеристик пережога провода к модели, в основе которой лежит вероятностный подход в определении защищенности участка. Такая модель позволит скорректировать время срабатывания аппарата защиты и, как следствие, более точно оценить пожарную и электрическую опасность защищаемого участка сети (некоторого объекта).

Для решения поставленной задачи, первым этапом было необходимо точно определить токо-временные зависимости аппаратов защиты и характеристики пережога проводника. Чтобы это сделать, потребовалось перейти от точечного (табличного) представления зависимостей к временным функциям, описывающим эти кривые. Для этого были использованы соответствующие численные методы.

На первом этапе была выбрана характеристика автоматического выключателя С60, которая подвергалась аппроксимации. Требовалось выявить зависимость двух непрерывных переменных величин:  $\frac{I}{I_n}$  и  $t$  (с).

Итак, у нас имеется некоторое число значений исследуемой функции в определенных точках, и все точки лежат внутри определенного интервала. Причём данные значения функции не являются абсолютно точными, а содержат некоторые погрешности (так как получены из опытов и содержат приборную и случайную погрешности измерения). Также может быть определен вид зависимости.

Исходя из этих условий, поставленная задача может быть решена посредством аппроксимации исходных данных (то есть характеристики срабатывания автоматического выключателя С60). В результате проведённых действий будет получена функция, максимально точно описывающая кривую срабатывания автомата.

Для наиболее точного описания требуемой функции проведена аппроксимация функций следующего вида:

$$\begin{aligned}f_1(x) &= k_1 \cdot \frac{1}{x} + k_0 \\f_2(x) &= k_1 \cdot x^{-k_2} + k_0 \\f_3(x) &= k_1 \cdot e^{-k_2 \cdot x} + k_0 \\f_4(x) &= k_1 \cdot k_3^{-k_2 \cdot x} + k_0 \\f_5(x) &= -k_1 \cdot tg(k_2 \cdot x) + k_0\end{aligned}$$

Существует ряд критериев, определяющих наилучшее описание функцией исходных данных. В работе был выбран метод наименьших квадратов (как наиболее распространенный). Для этого, после выбора аппроксимирующей функции  $f(x_i, k_0, k_1, k_2, \dots)$  строится сумма следующего вида:

$$Q = \sum_{i=1}^n [f(x_i, k_0, k_1, k_2, \dots) - y_i]^2$$

Искомые значениями параметров  $k_0, k_1, k_2, \dots$  полагаются числа, которые обеспечивают минимум суммы  $Q$ .

Далее сумма  $Q$  рассматривается как функция переменных  $k_0, k_1, k_2, \dots$ .

Её минимальное значение можно вычислить, решив следующую систему уравнений:

$$\frac{dQ}{dk_0} = 0,$$

$$\frac{dQ}{dk_1} = 0,$$

$$\frac{dQ}{dk_2} = 0,$$

...

и подставив полученные значения параметров  $k_0, k_1, k_2, \dots$  в изначальную сумму.

Проделав данную операцию со всеми предполагаемыми функциями (видами зависимостей исходных величин) было выяснено, что сумма  $Q$  имеет наименьшее значение при экспоненциальной зависимости, а значит именно она лучше всего описывает характеристику срабатывания автоматического выключателя С60 (и других соответственно).

Следуя вышеприведенному алгоритму, не составит труда найти функциональную зависимость (коэффициенты  $k_0, k_1, k_2$ ) для характеристики срабатывания любого автоматического выключателя. Была решена задача аппроксимации исходных данных.

#### Список использованных источников

1. Фадеев, М. А.. Численные методы [Текст] : учебное пособие / М. А. Фадеев, К. А. Марков. – Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2010. – 158 с.
2. Сошников, А.А., Никольский, О.К. Расчет эффективности электрической защиты в сетях 0,38 кВ: учебное пособие, – Барнаул, 1992. – 58 с.
3. Дробязко, О.Н. Оптимальные стратегии создания систем безопасности электроустановок агропромышленного комплекса: автореф. дисс. д-ра техн. наук. – Барнаул, 2006. – 44 с.

#### МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ ОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТА ТЕМПОРАЛЬНОЙ ЛОГИКИ

Боярков Д.А. – магистрант гр. 8-Э-52, Мартко Е.О. – к.т.н., доцент

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

В настоящее время опасность эксплуатации электрооборудования на предприятиях агропромышленного комплекса остается очень высокой и постоянно повышается. Данная тенденция в основном связана с критическим уровнем старения и износа основных элементов технологического оборудования, которое многие годы не модернизировалось и не заменялось на современное. Поэтому возникает необходимость знать степень опасности электроустановки (ЭУ) для жизни и здоровья человека. Количественным показателем, наиболее полно характеризующим техническое состояние и остаточный ресурс ЭУ, по мнению многих ученых в области электробезопасности, является риск опасности (техногенный риск). Данный показатель учитывает вероятность возникновения какой-либо опасной техногенной ситуации (ОТС), а так же экономический ущерб от воздействия этих ОТС.

Существует большое количество методов анализа и оценки рисков, которые имеют свои достоинства и недостатки, но главное, что их все объединяет – это то, что они не учитывают тот факт, что человеко-машинная система «человек - электроустановка - среда» (Ч – ЭУ – С) является динамической и ее состояние может изменяться с течением времени. Например, вероятность возникновения ОТС зависит от того или иного характерного периода технологического процесса на предприятии, а также причинно-следственных связей между рискообразующими факторами (РОФ), формирующих ОТС. Очевидно, что приведенные аспекты являются большим недостатком этих методов, поскольку значительно снижается точность в определении риска.

Для того чтобы учесть динамические изменения в системе Ч – ЭУ – С, а также временные взаимосвязи между РОФ, целесообразно использовать аппарат темпоральной логики. В данном виде логики время не упоминается явным образом, вместо этого формулы

позволяют записывать утверждения о том, что определенное состояние системы будет когда-либо выполнено. Свойства, в которых указываются события, которые когда-нибудь произойдут или вообще не произойдут, специфицируются с помощью темпоральных операторов. Существует два основных вида темпоральных логик: прошлого и будущего времени. Для рассмотрения темпоральных взаимосвязей между рискообразующими факторами наиболее удобно пользоваться темпоральной логикой прошлого, так как она учитывает предысторию возникновения РОФ в структуре риска, поэтому мы будем применять в дальнейших расчетах именно ее.

Рассмотрим использование аппарата темпоральной логики прошлого для оценки рисков опасности электроустановок на примере реального производственного объекта - птицефабрики Алтайского края ООО «Компания Чикен-Дак» [1]. Рассматриваемая организация характеризуется неполнотой, неточностью и неопределенностью исходных данных для определения риска, поэтому в данном случае целесообразно использовать сочетание темпоральной и нечеткой логик. На основании этого, была построена расчетная нечетко-темпоральная модель оценки риска, которая одновременно учитывает динамические изменения системы Ч – ЭУ – С, а также неопределенность исходной информации.

Для данного предприятия можно выделить три основных вида ОТС: электротравматизм, возникновение пожара по электротехническим причинам, а так же авария в системе электроснабжения. Алгоритм расчета при этом приведем только для электротравматизма, а для оставшихся двух видов ОТС оценка риска осуществляется аналогичным образом.

1) Определять риск электротравмы будем на основе экспертной системы, разработанной в программном комплексе MatLAB. Для этого создаем нечетко-темпоральную базу знаний, которая составлена на основе мнения экспертов: научных сотрудников АлтГТУ, а также инженерно-технического персонала птицефабрики. База знаний состоит из совокупности РОФ, от которых зависят все виды ОТС, свойственных для данного предприятия, характерные технологические периоды, а также уровень значимости и терм-множества того или иного РОФ в каком-либо технологическом периоде. Темпоральность данной базы знаний состоит в том, что календарный год (цикл) работы предприятия разделен на технологические периоды, характерные для него в тот или иной момент времени, такие как: нормальный режим, ненормальный режим (перегрузки, несимметрия нагрузок, отклонение напряжения и т.д.), выходные и праздничные дни, дополнительные смены, нарушение технологического процесса, предпраздничные и послепраздничные дни, техногенные внешние влияния (наводнения, землетрясения, оползни и т. д.), ремонтно-профилактический режим. Данные периоды выбраны по той причине, что они отражают изменение риска возникновения ОТС в течение года. Нечеткость же состоит в том, что терм-множества значений РОФ представляют собой лингвистические переменные, которые состоят из словесных выражений типа «малый – средний – большой». Уровень значимости каждого РОФ задается по 100 балльной шкале и в зависимости от того, насколько тот или иной фактор важен в структуре риска.

2) Задается совокупность РОФ, которая определяет тот или иной вид ОТС. В нашем случае на электротравматизм влияют следующие факторы, занесенные в базу знаний [1]:

- для кластера «Человеческий фактор»:  $X3$  – несоблюдение техники безопасности;  $X4$  – уровень профессионализма работника;  $X7$  – физическое состояние (возможность быстрой реакции в нестандартных ситуациях).

- для кластера «Электроустановка»:  $Y1$  – уровень опасности возникновения аварийных режимов (пробой изоляции и попадание опасного электрического потенциала на металлические части электроустановки);  $Y2$  – износ изоляционных частей ЭУ;  $Y3$  – срок эксплуатации электрооборудования;  $Y6$  – отсутствие электрической защиты.

- для кластера «Рабочая среда»:  $Z1$  – деструктивное воздействие параметров микроклимата;  $Z3$  – диагностика состояния технологического электрооборудования;  $Z5$  – состояние условий труда.

3) с помощью формул темпоральной логики прошлого составляем математическую модель риска получения электротравмы. Также здесь необходимо учесть временные причинно-следственные связи между РОФ, образующих ОТС. Так ошибки в принятии оперативных решений ( $X7$ ) темпорально зависят от уровня профессионализма работников ( $X4$ ) и от соблюдения ими техники безопасности ( $X3$ ). Уровень опасности возникновения аварийных режимов ( $Y1$ ) имеет темпоральную зависимость от степени износа изоляционных частей электроустановки ( $Y2$ ), срока эксплуатации ЭУ ( $Y3$ ), а так же от факта отсутствия средств электрозащиты. В свою очередь, степень износа изоляционных частей ( $Y2$ ) напрямую зависит от срока эксплуатации ЭУ ( $Y3$ ). Частота возникновения опасных факторов, превышающих допустимые значения ( $Z4$ ) темпорально зависят от уровня деструктивных воздействий параметров микроклимата ( $Z1$ ), периодичности проведения диагностики технического состояния ЭУ ( $Z3$ ) и от состояний условий труда ( $Z8$ ). Данные зависимости математически можно описать с помощью темпоральных операторов прошлого, которые образуют простые высказывания: «иногда в прошлом» ( $\blacklozenge$ ), «всегда в прошлом» ( $\blacksquare$ ), «иногда в прошлом на интервале» ( $\blacklozenge_n^k$ ), «всегда в прошлом на интервале» ( $\blacksquare_n^k$ ). Сложные темпоральные высказывания в свою очередь состоят из простых и объединяются с помощью интервальной логики Дж. Аллена или логической операции «приоритетное И» ( $\wedge_{np}$ ), которая определяется следующим образом:

$$A \wedge_{np} B = (A \tau B) \vee (A \wedge B), \quad (1)$$

где  $A, B$  – простые темпоральные высказывания;  $\tau$  - какая-либо из операций интервальной логики Дж. Аллена (таблица 1);  $\vee$  - логическая операция нечеткой дизъюнкции;  $\wedge$  - логическая операция нечеткой конъюнкции [2].

Таблица 1 - Основные операции интервальной логики Дж. Аллена

Операция	Обозначение	Иллюстрация
$X$ before $Y$ ( $X$ раньше $Y$ )	$b$	$\frac{\underline{X}}{\quad} \quad \underline{Y}$
$X$ meets $Y$ ( $X$ встречается $Y$ )	$m$	$\frac{\underline{X}}{\quad} \quad \underline{\quad Y}$
$X$ overlaps $Y$ ( $X$ перекрывает $Y$ )	$o$	$\frac{\quad \underline{X}}{\quad} \quad \underline{Y}$
$X$ during $Y$ ( $X$ во время $Y$ )	$d$	$\frac{\quad \underline{X} \quad}{\quad} \quad \underline{Y}$
$X$ starts $Y$ ( $X$ начинается с $Y$ )	$s$	$\frac{\underline{\quad X} \quad}{\quad} \quad \underline{Y}$
$X$ finishes $Y$ ( $X$ заканчивается с $Y$ )	$f$	$\frac{\quad \underline{Y} \quad}{\quad} \quad \underline{\quad X}$
$X$ equals $Y$ ( $X$ равняется $Y$ )	$e$	$\frac{\quad \underline{X} \quad}{\quad} \quad \underline{\quad Y}$

Тогда математическая модель риска электротравматизма будет иметь следующий вид:

$$R = ((\blacksquare Z1 \wedge_{np} \blacksquare Z3 \wedge_{np} \blacksquare Z5) \wedge_{np} Z4) \wedge_{np} ((\blacksquare X4 \wedge_{np} \blacksquare X3) \wedge_{np} X7) \wedge_{np} ((\blacklozenge Y6 \wedge_{np} \blacksquare Y2 \vee \blacksquare_n^k Y3) \wedge_{np} Y1).$$

4) по полученной математической модели с помощью программного комплекса MatLAB определяем риск электротравмы для каждого из характерных технологических периодов. Затем полученные значения рисков умножаем на удельный вес в году каждого технологического периода (например, для нормального режима удельный вес в году будет равен 0,44, поскольку данный режим является преобладающим для птицефермы) и арифметически складываем получившиеся значения. Итоговая сумма – это и есть риск

электротравматизма персонала на исследуемом объекте. Подобным образом можно оценить риск пожара по электротехническим причинам, аварии в системе электроснабжения, а также интегральный риск – комплексный показатель опасности, учитывающий все виды ОТС, характерных для рассматриваемого предприятия.

После произведенных расчетов была получена величина риска, равная  $10^{-3}$ , что соответствует недопустимому значению. Сравним данное значение риска со значением, полученным ранее без использования темпоральной логики, которое равняется  $2,1 \cdot 10^{-4}$ , что является допустимым риском. Как видно, уровень опасности ЭУ кардинально изменился, что указывает на неточность расчета риска без использования темпоральной логики.

На основании всего вышеизложенного можно сделать вывод, что переход от статической модели оценивания рисков электроустановок к динамической способствует более глубокому анализу факторов риска, более точному оцениванию опасности техногенных аварий и катастроф, что в свою очередь обеспечивает снижение аварийности на предприятиях, уменьшение травматизма, а также ущерба от пожаров и других техногенных опасностей.

#### Список использованных источников

1. Никольский О.К. Теория и практика управления техногенными рисками [Текст]. / О.К. Никольский, Н.П. Воробьев, Т.В. Еремина, А.Ф. Костюков, А.Ф. Калинин, А.Н. Тушев – Барнаул, Изд-во АлтГТУ, 2015. – 219 с.

2. Еремеев А.П. Логика ветвящегося времени и ее применение в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // Сб. тр. 10-й Нац. Конф. По искусственному интеллекту с междунар. Уч. КИИ-2006. В 3-х т. Т.3. – Москва : Физматлит, 2006. – С.746 - 754.

#### ЭФФЕКТИВНЫЕ РЕЖИМЫ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Бурдасов В. С. – студент группы 8-Э-52, Куликова Л. В. – д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В настоящий момент на промышленных предприятиях основными потребителями электроэнергии выступают асинхронные двигатели и трансформаторы. Для их функционирования необходимо возникновение переменного магнитного поля, которое невозможно без реактивного (намагничивающего) тока. Поэтому генераторы электростанций вырабатывают как активную, так и реактивную мощность. Только в отличие от полезно расходуемой активной мощности, реактивная лишь участвует в создании электромагнитного поля в электроустановках. Затем она снова возвращается к генератору, перегружая электрическую сеть.

Коэффициент мощности  $\cos\varphi$  складывается из отношения активной (полезной) мощности к полной. (Рисунок 1)

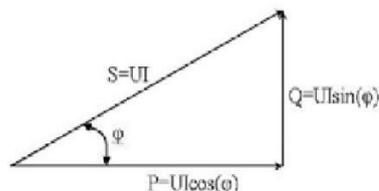


Рисунок 1 - треугольник мощностей

Процесс снижения реактивной мощности в сети состоит их двух этапов:

- снижение потребления реактивной мощности электроприемниками;
- установка устройств компенсации реактивной мощности (УКРМ).

На промышленных предприятиях больше половины потребления реактивной мощности (60%) приходится на асинхронные двигатели (АД). Именно поэтому первоочередной целью является снижение реактивной мощности, приходящейся на асинхронные двигатели. Для осуществления этой задачи имеется комплекс мер, как то:

- оптимальный выбор типа и мощности электродвигателя;
- установка АД меньшей мощности вместо недогруженных АД;
- сокращение холостых ходов АД;
- снижение напряжения в обмотках АД, периодически работающих с малой нагрузкой;
- высокое качество ремонта АД.

Основными устройствами компенсации реактивной мощности являются статические конденсаторы, синхронные двигатели, синхронные компенсаторы, статические тиристорные компенсаторы.

Статические конденсаторы получили наибольшее распространение в промышленности. К их достоинствам можно отнести малые потери реактивной мощности; простоту и дешевизну эксплуатации; возможность регулировки мощности; а также свободу монтажа в любой точке сети.

Синхронные компенсаторы – это специальные синхронные электрические машины. Они имеют облегченную конструкцию и предназначены только для выработки реактивной мощности. Основными недостатками такой компенсации являются высокие удельные потери активной мощности, а также более сложная и дорогая эксплуатация по сравнению со статическими конденсаторами.

Использование синхронных двигателей вместо асинхронных позволяет повысить КПД установки. Также появляется возможность использования синхронных двигателей в качестве устройств компенсации. Минусы применения синхронных двигателей – это высокая стоимость по сравнению с АД.

Постепенно все большее признание находят статические (тиристорные) источники реактивной мощности. Тиристорные компенсаторы имеют ряд преимуществ перед синхронными компенсаторами, главное из которых – возможность плавной и быстрой регулировки реактивной мощности.

В зависимости от подключения УКРМ различают следующие способы компенсации. (Рисунок 2)

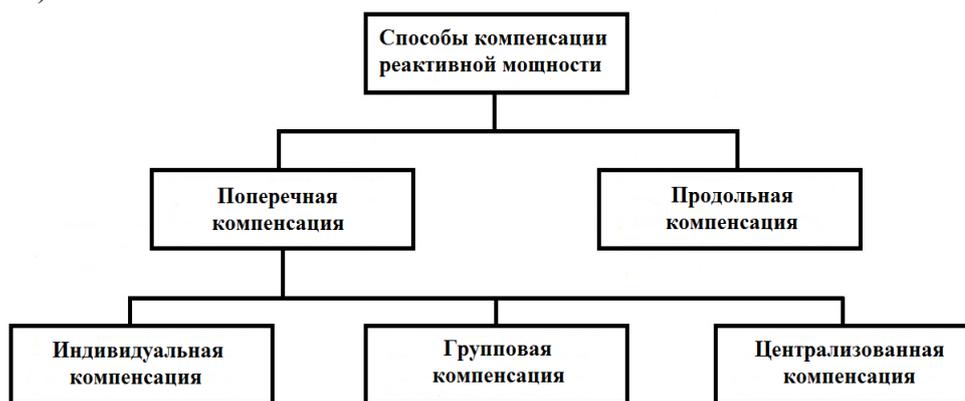


Рисунок 2 – Способы компенсации реактивной мощности

Для поперечной компенсации используются все типы УКРМ, для продольной – только конденсаторы.

Для оценки эффективности установки устройств компенсации реактивной мощности были проведены измерения с помощью анализатора "Legrand" на объекте ОАО "Алтайвагон". Замеры производились в период с 17.11.2016 по 21.12.2016 в трех точках: ТП-4, ТП-10, ТП-32.

Результаты измерений указаны в таблице 1

Таблица 1 – Результаты измерений

Объект	$S_{\text{нагр ср}}$ , кВА	$P_{\text{нагр ср}}$ , кВт	$Q_{\text{нагр ср}}$ , кВАр	$\cos\varphi_{\text{ср}}$	$K_{\text{УИ}}$ , %	$K_{\text{ШИ}}$ , %
ТП-4	400,8	347,7	199,39	0,87	1,7	14
ТП-10	480,14	287,33	384,69	0,6	2,6	14,9
ТП-32	281,9	246,2	133,1	0,88	2,3	11

$S_{\text{нагр ср}}$ ,  $P_{\text{нагр ср}}$ ,  $Q_{\text{нагр ср}}$  – соответственно средние значения полной, активной и реактивной мощностей;  $\cos\varphi_{\text{ср}}$  – средний коэффициент мощности;  $K_{\text{УИ}}$  и  $K_{\text{ШИ}}$  соответственно – коэффициенты искажения синусоидальности кривой напряжения и тока.

На основе полученных данных был выполнен расчет и сравнительный анализ эффективности монтажа УКРМ. (Таблица 2, 3)

Таблица 2 – Прогноз эффективности КРМ

Объект	Мощность УКРМ, кВАр	$S$ , кВА	$P_1$ , кВт	$Q_1$ , кВАр	$\cos\varphi$	$K_{\text{ЗТ}}$
ТП-4	-	400,8	347,7	199,4	0,87	0,4
ТП-4 (КРМ)	100	361,6	347,7	99,4	0,96	0,36
ТП-10	-	480,14	287,33	384,69	0,6	0,48
ТП-10 (КРМ)	300	299,6	287,3	84,7	0,96	0,3
ТП-32	-	281,9	246,2	133,1	0,88	0,28
ТП-32 (КРМ)	100	248,4	246,2	33,1	0,99	0,28

$K_{\text{ЗТ}}$  – коэффициент загрузки трансформатора

Таблица 3 – Расчет и анализ экономической составляющей КРМ

Объект	I, А		$\Delta P_{\text{T}}$ , кВт	$\Delta \mathcal{E}$ , кВт·ч	$\Delta \mathcal{E}_{\text{Общ}}$ , кВт·ч	$T_{\text{Ок}}$ , лет
	До установки УКРМ	После установки УКРМ				
ТП-4 (0,4 кВ)	1 055	952	0,55	1 656,1	13 978,9	3,3
ТП-4 (КРМ; 6 кВ; Зона 1)	67	60	1,5	4 538,3		
ТП-4 (КРМ; 6 кВ; Зона 2)	67	60	2,57	7 784,5		
ТП-10 (0,4 кВ)	1 264	788	2,52	6 156,1	73 772,7	1,2
ТП-10 (КРМ; 6 кВ; Зона 1)	80	50	15,86	38 680,04		
ТП-10 (КРМ; 6 кВ; Зона 2)	80	50	11,87	28 936,2		
ТП-32 (0,4 кВ)	736	654	0,44	1 645,2	19 044,8	2,5
ТП-32 (КРМ; 6 кВ; Зона 1)	47	41	2,59	9 666,4		
ТП-32 (КРМ; 6 кВ; Зона 2)	47	41	2,07	7 733,2		

В таблице 3:  $\Delta P_{\text{T}}$  – компенсированная мощность;  $\Delta \mathcal{E}$ ,  $\Delta \mathcal{E}_{\text{Общ}}$  – соответственно годовая экономия электроэнергии в отдельных точках ТП и в целом на ТП;  $T_{\text{Ок}}$  – прогнозируемый срок окупаемости УКРМ.

В настоящий момент проблема компенсации реактивной мощности в промышленности особенно актуальна. Единственным нормативным документом, регламентирующим порядок установки коэффициента мощности, является Приказ Минэнерго РФ от 23.06.2015 г. №380 "О порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности...". К сожалению, этот документ на практике не стимулирует потребителей электроэнергии компенсировать реактивную мощность. Более того, большинство промышленных предприятий имеет устаревшее оборудование по КРМ либо вообще отказывается от них из-за проблем с дальнейшей эксплуатацией. Тем не менее, данные расчеты доказывают, что компенсация реактивной мощности является одним из приоритетных направлений в развитии отечественного энергосбережения.

#### Список использованных источников

1. Константинов Б.А. Компенсация реактивной мощности [Текст] / : Б.А. Константинов, Г.З. Зайцев // Л., "Энергия", 1976. – 104 с.
2. Приказ Минэнерго РФ от 23.06.2015 г. №380 "О порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии".

### СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ЕЕ ПЕРЕДАЧЕ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СЕТЯМ

Чильчинов А.Г. – магистрант гр. 8-Э-52, Куликова Л.В. – д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Электрическая энергия является единственным видом продукции, для перемещения которого от мест производства до мест потребления не используются другие ресурсы. Транспортировка электрической энергии осуществляется за счет расхода определенной части самой продукции, поэтому ее потери при передаче неизбежны, задача состоит в определении их экономически обоснованного уровня. Снижение потерь электроэнергии в электрических сетях до этого уровня одно из важных направлений энергосбережения.

Потерями в электросетях считают разность между переданной электроэнергией от производителя доуценной потребленной электроэнергией потребителя. Их величина регламентируется постановлениями Национального комитета по регулированию электроэнергии (НКРЭ) в сетях напряжением до 35 кВ и в сетях напряжениям 35 кВ и выше. Большая часть потерь электроэнергии (60 – 70%) приходится на сети напряжением 6 – 10 кВ.

Потери происходят в ЛЭП, в силовых трансформаторах, за счет вихревых токов при потреблении приборов с реактивной нагрузкой, а также из-за плохой изоляции проводников и хищения неучтенного электричества.

Для решения задачи по снижению электрической энергии при ее передаче по электрическим сетям производятся следующие мероприятия:

- Перевод электрической сети (участков сети) на более высокий класс напряжения

При выполнении электрических расчетов с учетом роста нагрузок необходимо рассматривать возможность перевода участков сети на более высокий класс напряжения. Особенно это касается зон комплексной массовой застройки. Перевод сети на более высокий класс напряжения должен рассматриваться одновременно с режимами работы нейтрали (глухозаземленная или эффективно заземленная через резистор), с такими режимами работы нейтрали имеют меньшие потери электроэнергии за счет отсутствия дополнительного оборудования, необходимого для компенсации больших емкостных токов.

- Компенсация реактивной мощности

При разработке схем развития сетей на стадии определения баланса активной и реактивной мощностей в узлах распределения потоков на расчетный период определяется

дефицит реактивной мощности. На основании расчетных данных в схеме решаются вопросы необходимого количества устройств компенсации реактивной мощности, а также места их размещения. Приоритетным является размещение компенсирующих устройств непосредственно у потребителя, так как это коренным образом влияет на потери электроэнергии в сети и на ее качество у потребителя. Батарея статистических конденсаторов в данном варианте установки является одновременно и элементом регулирования напряжения.

- Регулирование напряжения в линиях электропередачи

Регулирование напряжения на центрах питания должно осуществляться по принципу встречного регулирования. На протяженных фидерах - в целях снижения потерь электроэнергии и обеспечения надлежащего уровня напряжения, в качестве регуляторов напряжения необходимо устанавливать конденсаторные батареи с автоматическим регулированием или вольтодобавочные трансформаторы, также с автоматическим регулированием напряжения.

- Применение современного электротехнического оборудования, отвечающего требованиям энергосбережения

Необходимо заменять силовые трансформаторы и трансформаторы собственных нужд в случае, если они обладают большими потерями электроэнергии на перемагничивание сердечников, на трансформаторы с меньшими потерями, а также токоограничивающие реакторы на современные с большими индуктивными сопротивлением к токам короткого замыкания и меньшими потерями в нормальном режиме.

При разработке рабочих проектов на реконструкцию и техническое перевооружение должно закладываться оборудование, отвечающее требованиям энергосбережения. Применение трансформаторов с сердечниками из аморфной стали, также позволит снизить потери.

Применение измерительных трансформаторов тока и напряжения с высоким классом точности и замена индукционных счетчиков на электронные позволит получать более объективную информацию о потерях в электрических распределительных сетях, снижая тем самым величину коммерческих потерь электроэнергии.

Применение вольтодобавочных трансформаторов как линейных регуляторов напряжения позволяет не только снижать потери электроэнергии в сетях, но также решает вопрос адаптации линий электропередачи к изменению электрических нагрузок в сторону их роста - обеспечит нормированный уровень напряжения у потребителя.

- Снижение расхода электроэнергии на «собственные нужды» электроустановок

Применение для электрообогрева зданий и сооружений подстанций, распределительных пунктов трансформаторных подстанций и т.д. нагревательных элементов с аккумуляторами тепла, позволяющих использовать электроэнергию на обогрев в ночной не пиковый период графика нагрузок позволит частично сократить потребление на собственные нужды на электросетевых объектах.

Применение для освещения зданий и территорий люминесцентных светильников с максимальным использованием так называемого режима «дежурного света».

- Внедрение автоматизации и дистанционного управления электрическими распределительными сетями напряжением 6-35кВ

Обеспечивает своевременное выявление неблагоприятных режимов работы сети и оперативное устранение этих режимов в неблагоприятных ситуациях графиков нагрузок, позволяет избегать аварийных ситуаций массового отключения потребителей. Недопущение развития неблагоприятных режимов в электрических сетях в значительной мере влияет и на потери электроэнергии в сетях.

Коммутационные аппараты выключатели, выключатели нагрузки должны применяться на базе вакуумных выключателей с программируемым микропроцессорным управлением, обеспечивающим функции АПВ, АВР, фиксацию изменения потоков мощности.

Необходимость вышеперечисленных мероприятий должна учитываться при согласовании властями муниципального образования производственных и инвестиционных программ электросетевых организаций.

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ  
ОТ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ ВО ВНУТРЕННИХ СЕТЯХ ОБЪЕКТОВ АПК**  
Цуканов А.В. – магистрант гр. 8-Э-62, Чернов А.В.- студент гр. Э-33, Сошников А.А. –  
д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Многолетний опыт эксплуатации электроустановок в АПК показывает, что эффективность электрической защиты на основе предохранителей и автоматических выключателей остается достаточно низкой, несмотря на совершенствование защитной аппаратуры и все более широкое использование устройств защитного отключения (УЗО), которые по принципу действия не реагируют на однофазные короткие замыкания (КЗ) на нулевой рабочий провод и междуфазные КЗ. Эти функции по-прежнему возлагаются на автоматические выключатели, с которыми комбинируются УЗО.

Недопустимо высокое время срабатывания защиты при малых токах КЗ привело к необходимости изменения подхода к проверке чувствительности защиты в методиках выбора параметров срабатывания. Нормирование минимально необходимой кратности аварийных токов [1] заменено на установление максимально допустимого времени срабатывания защиты [2]. В 7-м издании ПУЭ [2] это время регламентируется значениями 0,4 с для внутренних радиальных и 5 с для групповых сетей.

Для построения эффективной электрической защиты может быть предложен подход, отличный от настройки параметров защиты под расчетные значения аварийных токов и предусматривающий их увеличение до уровня, при котором зона срабатывания автоматических выключателей смещается к области чувствительности электромагнитных расцепителей (ЭР).

В настоящее время для защиты внутренних электрических сетей все большее применение находят автоматические выключатели серии ВА с номинальным током 16; 25; 31,5; 40; 50; 63 А. Наибольшее распространение в России получили выключатели с характеристикой типа С, ЭР которых срабатывают в диапазоне (5...10) по отношению к номинальному току ( $I_n$ ). Более чувствительные выключатели с характеристикой типа В (от 3  $I_n$  до 5  $I_n$ ) почти не применяются в сельских сетях из-за опасения возможности ложных срабатываний в условиях непрофессиональной эксплуатации. В то же время в электроустановках АПК до сих пор эксплуатируется большое количество автоматических выключателей серии АЕ с кратностью тока срабатывания ЭР 12  $I_n$ .

Оценить возможность срабатывания ЭР автоматических выключателей позволяют результаты расчета токов однофазного КЗ в удаленных точках внутренней сети при различных параметрах внешней сети, приведенные в таблице 1.

Расчетные значения токов КЗ представлены для схемы соединения обмоток трансформатора 10/0,4 кВ «звезда – звезда» и сечении проводов внутренней сети 4 мм<sup>2</sup>. При оценке пороговых токов срабатывания ЭР выключателей (таблица 2) использовались средние значения: 7,5  $I_n$  - для выключателей серии ВА (С) и 4  $I_n$  - для выключателей серии ВА (В).

Анализ выполненных расчетов показал, что даже на расстоянии 100 м от подстанции при сечении проводов воздушной линии 95 мм<sup>2</sup> и протяженности внутренней алюминиевой электропроводки 60 м ЭР выключателей серии АЕ с номинальным током 16 А и выше и серии ВА (С) с номинальным током 25 и выше не будут реагировать на однофазное КЗ. Только при использовании медной электропроводки и снижении ее протяженности до 30 м в

некоторых случаях возможно срабатывание ЭР выключателей серии АЕ с номинальным током 31,5 А, и серии ВА (С) – с номинальным током 50 А.

При удалении от подстанции до 800 м ЭР выключателей серии АЕ с номинальным током 16 А и выключателей серии ВА (С) с номинальным током 25 А даже при выполнении внутренней проводки медным проводом, протяженностью не превышающей 30 м, на однофазные КЗ не реагируют.

Наилучшими показателями срабатывания обладают выключатели серии ВА (В). При удалении от подстанции до 100 м и протяженности внутренней алюминиевой электропроводки 60 м порог срабатывания ЭР достигается для выключателей с номинальным током до 40 А, а в отдельных случаях (при медной электропроводке и сечении воздушной линии 95 мм<sup>2</sup>) - 63 А. При уменьшении протяженности медной электропроводки до 30 м порог срабатывания ЭР достигается для всей рассмотренной линейки номинальных токов.

Таблица 1 - 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 30 м / 60 м сечением 4 мм <sup>2</sup> , А								
		При протяженности ВЛ								
Тип линии	Мощность тр-ра (кВА)	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	при схеме соединения обмоток «звезда – звезда»	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	182/127	222/169	227/147	293/207	59/52	63/58	121/94	137/115
		160	200/135	249/184	256/158	343/230	61/53	65/59	129/98	147/122
		250	212/141	269/195	277/166	383/247	62/54	66/60	134/101	154/126
		400	222/145	284/202	293/172	414/260	63/55	67/61	137/103	159/130
		630	227/147	294/207	303/175	435/268	64/56	68/62	139/105	162/132

Таблица 2 – Расчетные пороговые токи срабатывания электромагнитных расцепителей автоматических выключателей

Номинальный ток, А	Пороговый ток срабатывания, А для выключателей серии		
	АЕ	ВА (С)	ВА(В)
16	192	120	64
25	300	187	100
31,5	378	236	126
40	480	300	160
50	600	375	200
63	756	472	252

Однако при удалении от подстанции до 800 м токи КЗ не всегда достигают даже порога срабатывания выключателей с номинальным током 16 А. И только для медной электропроводки при снижении ее протяженности до 30 м возможно срабатывание ЭР выключателей с номинальным током до 40 А.

Выполненные аналогичные расчеты для условий соединения вторичной обмотки силового трансформатора по схеме «зигзаг» (таблица 3), а также внешней сети, выполненной кабелем или СИП позволяют расширить область оценки значений токов КЗ и анализировать результативность защиты. Но в целом, проведенный анализ показывает проблематичность обеспечения регламентированного [2] наибольшего допустимого времени срабатывания защиты (0,4 с), даже при условии использования выключателей повышенной чувствительности серии ВА с характеристикой В.

Приведенные результаты расчетов позволяют оценить эффективность электрической защиты при различных параметрах электрической сети.

В процессе проектирования и реконструкции систем низковольтного электроснабжения целесообразно учитывать уровень токов КЗ, принимая во внимание, что его повышение достигается с помощью следующих мероприятий:

- повышения мощности трансформаторов на потребительских подстанциях;
- использования силовых трансформаторов со схемой соединения обмоток «звезда - зигзаг» или «треугольник – звезда»;
- 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.

Таблица 3 - 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 30 м / 60 м сечением 4 мм <sup>2</sup> , А							
		При протяженности ВЛ							
Тип линии	Мощность тр-ра (кВА)	100 м				800 м			
		Для сечения проводов ВЛ 25 мм <sup>2</sup>		Для сечения проводов ВЛ 95 мм <sup>2</sup>		Для сечения проводов ВЛ 25 мм <sup>2</sup>		Для сечения проводов ВЛ 95 мм <sup>2</sup>	
и	при схеме соединения обмоток «звезда – зигзаг»	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
ВЛ	100	219/14 4	280/20 1	289/17 1	406/25 7	63/55	67/6 1	137/10 3	158/12 9
	160	226/14 7	292/20 7	301/17 5	431/26 7	63/55	68/6 2	139/10 5	161/13 2
	250	231/14 9	300/21 0	309/17 8	448/27 3	64/56	68/6 2	141/10 6	164/13 3
	400	234/15 0	305/21 3	315/17 9	460/27 8	64/56	68/6 2	142/10 6	165/13 4
	630	235,15 1	308/21 4	317/18 0	466/28 0	64/56	69/6 3	143/10 7	166/13 5

Таким образом, для повышения эффективности электрической защиты объектов АПК параметры системы электроснабжения 0,38 кВ, включая электропроводки во внутренней

электрической сети, следует выбирать с учетом уровня токов КЗ с целью достижения порогов срабатывания ЭР (или приближения к ним) автоматических выключателей.

Очевидно, что предложенный подход, связан с дополнительными затратами. Однако мероприятия по увеличению уровня токов КЗ одновременно повышают надежность электроснабжения и качество напряжения у потребителей, а также улучшают условия пуска мощных асинхронных электродвигателей. За счет повышения эффективности электрической защиты в ряде случаев снижается ущерб от перерывов электроснабжения и повреждений электрооборудования, уменьшается вероятность возникновения электропожаров.

Необходимо также отметить, что использование этих рекомендаций не позволяет определить единые требования к параметрам низковольтных электрических сетей. Требуется проведение расчетов технических и экономических показателей для конкретных вариантов электроснабжения различного вида электропотребителей. Такие расчеты могут проводиться с помощью разработанного в АлтГТУ программного комплекса «СКЭД -380» и его модификаций.

#### Список использованных источников

1. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.
2. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2003. – 176 с.

### ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Дудкин В.А. – студент гр. Э-33, Куликова Л.В. – д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Свет является естественным условием жизнедеятельности человека. Он важнейший фактор, влияющий на сохранение здоровья и высокой работоспособности человека. Правильно организованное освещение создает благоприятные условия труда, уменьшает количество несчастных случаев, повышает работоспособность и производительность труда.

Под энергосбережением понимается – комплекс мер по реализации правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических мер, направленных на эффективное (рациональное) использование (и экономное расходование) топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) и на вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии (Федеральный закон «Об энергосбережении» от 23.11.2009 г № 261-ФЗ).

Целью энергосбережения является повышение энергоэффективности всех отраслей, во всех поселениях, а также в стране в целом.

В настоящее время проблема энергосбережения и повышения энергоэффективности в осветительных установках всех стран мира, приобрела исключительное значение. При этом от успехов в решении этой проблемы во многом зависит будущее человеческой цивилизации. Проблема в значительной мере связана также с непрерывно происходящим увеличением масштабов осветительных установок (ОУ) и потреблением в них электрической энергии. Следовательно, при решении проблемы энергосбережения необходимо рассмотреть технические характеристики и эффективность применения.

Повышение энергоэффективности ОУ связано с задачей комплексного снижения затрат в ОУ, так как для любого потребителя важно не только снижение энергоемкости его ОУ, но и срок окупаемости затрат на новую или переоборудуемую ОУ. Эффективной следует считать такую ОУ, которая создает высококачественное освещение и сохраняет свои характеристики на протяжении длительной работы при наименьших капитальных и эксплуатационных затратах, в том числе при минимальном энергопотреблении. В конечном

итоге эффективность ОУ определяется стоимостью световой энергии, генерируемой за срок службы ОУ и в значительной ни зависящей от затрат на электрическую энергию (рисунок 1).

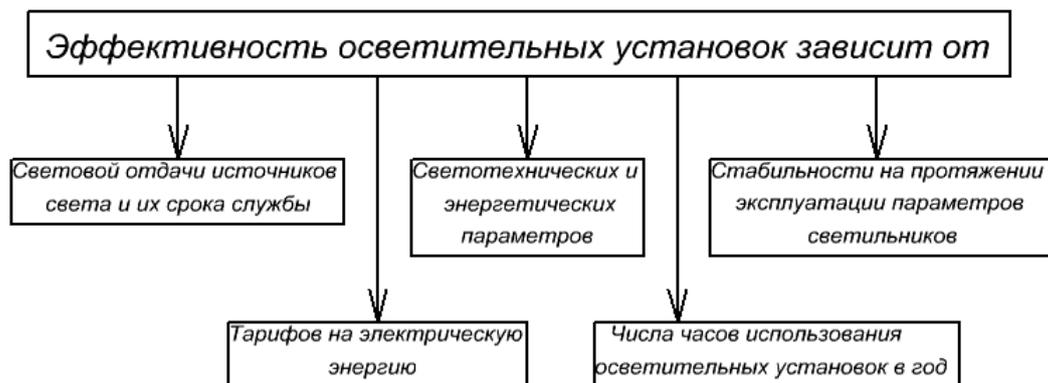


Рисунок 1- Схема эффективности осветительных установок

Наряду с этим, немаловажное значение имеет стоимость ламп и светильников, а также стоимость монтажа и обслуживания.

На рисунке 2 представлены способы экономии электроэнергии и затрат на освещение.



Рисунок 2 - Способы экономии электроэнергии и затрат на освещение

В итоге для энергосбережения и повышения энергоэффективности важно организовать четкое взаимодействие с бизнес-сообществом, а также задействовать человеческий фактор, обеспечив информационную и образовательную поддержку мероприятий по энергосбережению и повышению энергоэффективности использования топливно-энергетических ресурсов на международном, федеральном, региональном и муниципальном уровнях.

#### Список использованных источников

1. Куликова, Л.В. Осветительные установки. [Электронный ресурс]: Методические указания.— Электрон. дан.— Барнаул: АлтГТУ, 2013.— Режим доступа: [http://elib.altstu.ru/elib/typog/epb/Kulikova\\_ou.pdf](http://elib.altstu.ru/elib/typog/epb/Kulikova_ou.pdf).

2. Куликова, Л.В. Светотехнические установки АПК [Электронный ресурс]: учебное пособие по дисциплине «Светотехнические установки агропромышленного комплекса» для студентов, обучающихся по направлению «Электроэнергетика и электротехника» / Л. В. Куликова, Е. В. Титов; АлтГТУ им. И. И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2015. – 154 с. – Режим доступа: [http://new.elib.altstu.ru/eum/download/epb/Kulikova\\_svetotech.pdf](http://new.elib.altstu.ru/eum/download/epb/Kulikova_svetotech.pdf).

## НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЗАЩИТЫ ОТ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ ВО ВНУТРЕННИХ СЕТЯХ ОБЪЕКТОВ АПК

Каменев А.О. – магистрант гр. 8-Э-52, Сошников А.А. - д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В условиях сформированной системы электроснабжения объектов АПК, разработанной десятилетия назад, выявлена проблематичность качественного функционирования защиты от коротких замыканий (КЗ) во внутренних электрических сетях из-за низкого уровня токов КЗ. В частности, время срабатывания такой защиты во многих случаях не соответствует современному требованию ПУЭ, регламентирующему его значение в пределах 0,4 с [1].

В некоторых случаях, возникающая в проводке электрическая дуга высокой температурой в несколько тысяч градусов пережигает токопроводящие жилы еще до срабатывания аппаратов защиты. Несрабатывание защиты может привести к возникновению и распространению пожароопасных процессов.

Специфика электроснабжения объектов агропромышленного комплекса включает следующие особенности:

- повышение до сверхнормативных значений электрических нагрузок, а также рост числа электроприемников;
- наличие электрооборудования в помещениях категорий пожароопасное и взрывопожароопасное;
- отсутствие систем автоматического пожаротушения;
- несоответствующее стандартам состояние электрооборудования, качество эксплуатации, обслуживание и ремонта [2].

Безопасность эксплуатации и предотвращение развития аварийных режимов работы электроустановок является исключительно важным для агропромышленного комплекса страны. В связи с этим снижение пожарной опасности коротких замыканий является практически реализуемой программой на основе разработанной научной базы.

Представляется целесообразным производить оценку эффективности электрической защиты по критериям количественной оценки пожарной опасности КЗ, а параметры системы электроснабжения 0,38 кВ, включая типы электропроводок во внутренней электрической сети, выбирать с учетом этих критериев [2, 3].

Для примера проанализируем ожидаемую результативность защиты от КЗ в мастерской крестьянского хозяйства с. Ключи, Ключевского района, Алтайского края, схема электроснабжения которой представлена на рисунке 1.

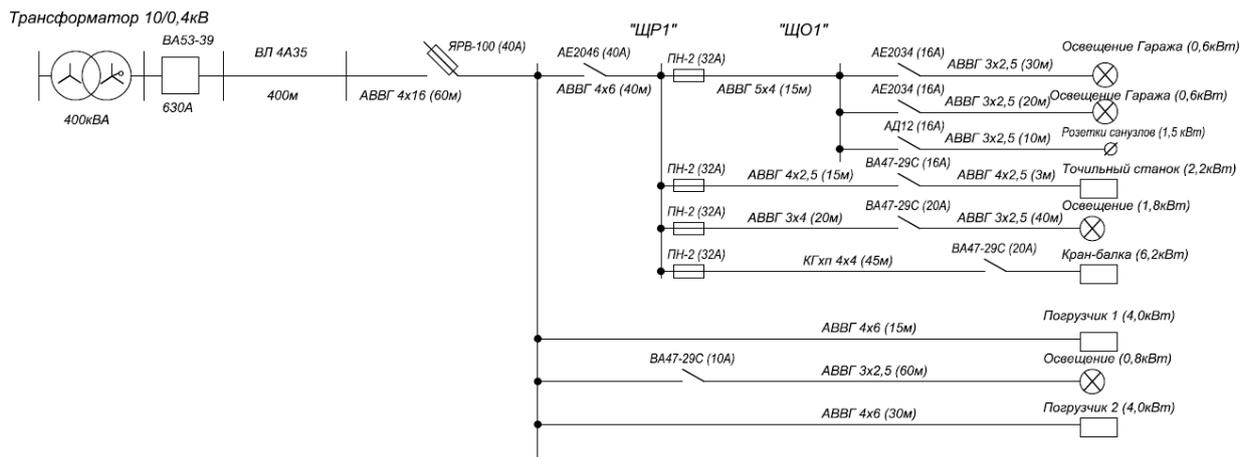


Рисунок 1 – Схема электроснабжения мастерской

Для этого используется разработанный в АлтГТУ программный комплекс СКЭД-380 [2], в котором предусмотрена возможность определения следующих показателей, характеризующих работу защиты:

- значений основных видов токов КЗ в узловых и удаленных точках сети;
- времени срабатывания аппаратов защиты при однофазных КЗ;
- коэффициентов незащищенности сети при различных видах КЗ;
- интегрального показателя пожарной опасности КЗ.

Коэффициент незащищенности сети для однофазных, двухфазных и трехфазных КЗ определяется отношением суммы длин участков сети, для которых время срабатывания защиты меньше времени пережога проводов электрической дугой КЗ к суммарной длине всех участков сети. Интегральный показатель пожарной опасности численно равен значению вероятности пожара на объекте от однофазных, двухфазных и трехфазных КЗ в течение года при допущении, что пережог электропроводки до срабатываний защиты обязательно приводит к пожару.

В результате проведенных расчетов коэффициенты незащищенности составили: для однофазных КЗ - 0,489; для двух- и трехфазных КЗ - 0,732 и 0,749. При этом интегральный показатель пожарной опасности основных видов КЗ составил 0,147.

Анализ результатов расчетов показывает, что при всех видах КЗ на многих участках сети провода пережигаются до срабатывания защиты. Кроме того, время срабатывания защиты внутренних участков сети при однофазных КЗ существенно превышает предельно допустимое (0,4 с), установленное п. 7.1.72 ПУЭ [1].

Рассмотрим, как изменятся показатели пожарной опасности КЗ при замене устаревшей и неэффективной системы защиты на автоматические выключатели ВА47-29 с характеристикой типа С. Расчетные значения коэффициентов незащищенности составили: для однофазных КЗ - 0,193; для двух- и трехфазных КЗ - 0. Интегральный показатель пожарной опасности основных видов КЗ снизился до 0,044. Таким образом, пожарная опасность КЗ уменьшается в 3 раза.

Данный пример иллюстрирует только одну из сторон неэффективного построения защиты сельских электрических систем. Более разветвленные схемы снабжения требуют пересмотра не только номенклатуры аппаратов защиты, но и снижение сопротивления цепи короткого замыкания для повышения значений токов КЗ путем проведения одного или нескольких из следующих мероприятий [4]:

- увеличение мощности силовых трансформаторов потребительских подстанций с использованием схемы соединения обмоток «звезда-зигзаг»;
- увеличение сечения проводов воздушных линий 0,38 кВ и алюминиевой проводки внутренних электрических сетей;

- использование воздушных кабелей (СИП);
- замена материала проводки внутренних электрических сетей на медную.

Пересмотр существующего подхода к построению систем электрической защиты необходим для снижения пожарной опасности КЗ и электротравматизма. Очевидно, что предложенный подход, связан с дополнительными затратами, однако позволяет существенно снизить потери от пожаров, остановки производства и электротравм.

#### Список использованных источников

1. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – М.: Изд-во НИЦ ЭНАС, 2003.– 176 с.
2. Володина Н.А. Основы электромагнитной совместимости: учебник для вузов / Н.А.Володина, Р.Н. Карякин, Л.В. Куликова, О.К. Никольский, А.А. Сошников, А.Л. Андронов, В.С. Германенко, П.И. Семичевский; под ред. Р.Н. Карякина; Алт. гос. тех. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул: ОАО «Алтайский полиграфический комбинат», 2007. – 480 с. ISBN 978-5-903387-07-6.
3. Сошников, А. А. Количественные показатели в технологиях безопасности / А. А. Сошников, Б.С. Компанец // Ползуновский вестник. - 2014, № 4 Т. 1- С. 119 – 123.
4. 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.

#### МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА НЕЗАКОННЫХ ПОДКЛЮЧЕНИЙ В МАГИСТРАЛЬНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Казымов И. М. – студент группы 8-Э-62, Компанец Б. С. – к. т. н., доцент  
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова (г. Барнаул)

Борьба с «коммерческими потерями» в распределительных сетях является одним из важнейших направлений работы по повышению эффективности и рентабельности электросетевого комплекса. Безучётное и бездоговорное потребление энергии является одним из факторов риска нарушения электроснабжения, так как наличие самовольных подключений к питающей сети, выполненных без соблюдения соответствующих правил и норм, повышает риск возникновения аварий, а также может быть причиной ухудшения показателей качества электроэнергии. Таким образом, своевременное выявление фактов хищения, бездоговорного и неучтённого потребления электроэнергии является одним из возможных направлений снижения издержек распределительных сетевых предприятий, а также позволяет снизить вероятность возникновения несчастных случаев и технологических нарушений.

О наличии на рассматриваемом участке электрической сети незаконных подключений говорит факт небаланса электроэнергии. Для обеспечения необходимой точности измерений, возникает необходимость в определении дополнительных параметров – величины протекающего через прибор учёта тока, напряжения в месте его подключения и активной мощности, потребляемой через него. Разница между силой тока в отходящей линии и суммой токов у потребителей возникает вследствие наличия неучтённого потребления электроэнергии. Важным моментом является тот факт, что подразумевается разница между силой тока, отдаваемого подстанцией и геометрической суммой токов потребителей. Применение геометрической суммы обосновано тем, что коэффициент мощности каждого потребителя в общем случае индивидуален.

Факт превышения разницей отдаваемых и потребляемых токов суммарной погрешности приборов является свидетельством неучтённого потребления электроэнергии на участке.

Определение места неучтённого потребления электроэнергии осуществляется на основе данных о падении напряжения на участках сети. Зная конфигурацию сети, а также показания приборов учёта на подстанции и у потребителей, можно определить дополнительное падение напряжения  $\Delta U_d$  и ток небаланса  $\Delta I$ . При помощи полученных данных определяется расстояние  $\Delta l$  от начала участка до точки незаконного подключения.

Наиболее удобным способом представления конфигурации сети является таблица, примером такой таблицы является таблица 1.

Таблица 1 – Пример таблицы с исходными данными

№ уч-ка	Марка провода	Сечение провода, мм <sup>2</sup>	Длина, км	R участка, Ом	X участка, Ом	Напряжение нач., В	Напряжение кон., В	Ток, А	Мощность P, кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	АС-70/11	79,3	100	0,0306	0,04	230	-	150	27,6
1.1	АС-70/11	79,3	100	0,0306	0,04	-	220	130	22,88

В общем случае, имея в сети N участков (N>1), необходимо определить участки, фактическое напряжение  $U_{\text{факт}}$  в узле которого (имеется в виду узел без прибора учёта, которому принадлежит данный участок) не совпадает с расчётным напряжением  $U_{\text{расч}}$  в это же узле, рассчитанным относительно показаний прибора учёта, находящегося на данном участке. В случае, если узлу принадлежит несколько участков, у которых на другом конце присутствует прибор учёта, за фактическое напряжение в узле  $U_{\text{факт}}$  принимается наибольшее расчётное напряжение  $U_{\text{расч}}$  относительно отходящих участков. Если  $U_{\text{расч}}$  и  $U_{\text{факт}}$  в конце участка не совпадают, то неучтённый ток  $\Delta I$  находится на данном участке и вызывает дополнительное падение напряжения, протекая по части сопротивления. Расстояние до точки неучтённого потребления электроэнергии от начала участка определяется по сопротивлению участка, на котором происходит падение напряжения. Если  $U_{\text{расч}}$  и  $U_{\text{факт}}$  совпадают, то ток, вызванный неучтённым потреблением, находится на другом участке и движение по схеме продолжается. В конечном итоге определяются участки, содержащие точку неучтённого потребления, и падение напряжения, вызываемое неучтённым током, которое определяется разницей  $U_{\text{расч}}$  и  $U_{\text{факт}}$ .

Далее необходимо рассчитать величину неучтённого тока и расстояние до утечки. Для этого в общем случае составляется система уравнений (1)

$$\begin{cases} \Delta U_1 = \Delta I_1 \sqrt{\Delta I_{a1}^2 \cdot R_0^2 + \Delta I_{r1}^2 \cdot X_0^2 + \Delta I_{a1}^2 \cdot X_0^2 + \Delta I_{r1}^2 \cdot R_0^2} \\ \Delta U_2 = \Delta I_2 \sqrt{\Delta I_{a2}^2 \cdot R_0^2 + \Delta I_{r2}^2 \cdot X_0^2 + \Delta I_{a2}^2 \cdot X_0^2 + \Delta I_{r2}^2 \cdot R_0^2} \\ \dots \\ \Delta U_n = \Delta I_n \sqrt{\Delta I_{an}^2 \cdot R_0^2 + \Delta I_{rn}^2 \cdot X_0^2 + \Delta I_{an}^2 \cdot X_0^2 + \Delta I_{rn}^2 \cdot R_0^2} \\ \Delta I_{a1} + \Delta I_{a2} + \dots + \Delta I_{an} = \Delta I_a \\ \Delta I_{r1} + \Delta I_{r2} + \dots + \Delta I_{rn} = \Delta I_r \end{cases}, \quad (1)$$

где n – количество участков с незаконным подключением;

$\Delta U_i$  – падение напряжения, вызываемое неучтённым током.

Для упрощения системы (1), применяя простейшие преобразования, получим

$$\begin{cases} \Delta U_1 = \Delta I_1 \cdot \Delta I_{a1} \cdot K \\ \Delta U_2 = \Delta I_2 \cdot \Delta I_{a2} \cdot K \\ \dots \\ \Delta U_n = \Delta I_n \cdot \Delta I_{an} \cdot K \\ \Delta I_{a1} + \Delta I_{a2} + \dots + \Delta I_{an} = \Delta I_a \end{cases}, \quad (2)$$

где  $K$  – коэффициент, определяемый по формуле (3).

$$K = \sqrt{(R_0^2 + X_0^2) \left( \frac{\Delta I_r}{\Delta I_a} + 1 \right)}. \quad (3)$$

Очевидно, что система является определённой только в случае  $n=1$ , где она вырождается в уравнение с одним неизвестным (4)

$$\Delta U = \Delta I \cdot \Delta I_a \cdot K. \quad (4)$$

Однако разница в значениях  $U_{\text{факт}}$  и  $U_{\text{расч}}$  может возникать не только в случае наличия на этом участке неучтённых токов, но и в случае, если данный участок по каким-либо причинам имеет большее сопротивление, чем предсказывают справочные данные. При этом будет отсутствовать небаланс токов и мощностей в сети. Такая ситуация может возникать в случае некачественного соединения проводов при их монтаже, например, после восстановления электроснабжения, прерванного в результате обрыва провода. Возможность такой ситуации становится очевидна при анализе системы уравнений (1), которая для этого случая переписывается в следующей форме (2)

$$\begin{cases} \Delta U_1 = \sqrt{I_{a1}^2 \cdot \Delta R_1^2 + I_{r1}^2 \cdot \Delta X_1^2 + I_{a1}^2 \cdot \Delta X_1^2 + I_{r1}^2 \cdot \Delta R_1^2} \\ \Delta U_2 = \sqrt{I_{a2}^2 \cdot \Delta R_2^2 + I_{r2}^2 \cdot \Delta X_2^2 + I_{a2}^2 \cdot \Delta X_2^2 + I_{r2}^2 \cdot \Delta R_2^2} \\ \dots \\ \Delta U_n = \sqrt{I_{an}^2 \cdot \Delta R_n^2 + I_{rn}^2 \cdot \Delta X_n^2 + I_{an}^2 \cdot \Delta X_n^2 + I_{rn}^2 \cdot \Delta R_n^2} \end{cases}, \quad (5)$$

где  $n$  – количество участков, на которых возможно наличие дополнительного сопротивления;

$\Delta U_i$  – дополнительное падение напряжения, вызываемое наличием на рассматриваемом участке дополнительного сопротивления.

Решив эту систему относительно  $\Delta R$  и  $\Delta X$ , получим значения дополнительного сопротивления на каждом из участков. Для определённости в общем случае можно принять допущение о том, что соотношение  $\Delta R$  и  $\Delta X$  будет таким же, как и соотношение удельного активного и реактивного сопротивлений. В этом случае решение системы уравнений будет аналогично решению системы уравнений (1), обзорно показанному в выражениях (2) и (3).

В том случае, если в схеме находится несколько участков, содержащих точки неучтённого потребления или участки с увеличенным сопротивлением (пример представлен на рисунке 2, где такие участки выделены красным цветом), система уравнений, описывающая все имеющиеся в сети «утечки», становится неопределённой (число неизвестных больше числа уравнений). Это не позволяет однозначно решить такую систему, поэтому необходимо ограничить расчёт, снизив точность определения места незаконного подключения до участка (в случае нахождения участков с увеличенным сопротивлением такая точность является единственным возможным вариантом). Такое снижение точности оправдано, поскольку протяжённость участков в рассматриваемых сетях в основном не превышает ста метров, что позволяет в краткие сроки произвести визуальный осмотр и обнаружить место незаконного подключения на основе данных, полученных в результате расчёта.

Автоматизация процесса расчёта таких систем уравнений позволяет получить точный результат (погрешность менее 0,5%) за разумное время (время расчёта сети, подобной представленной на рисунке 2 занимает не более десятых долей секунды).

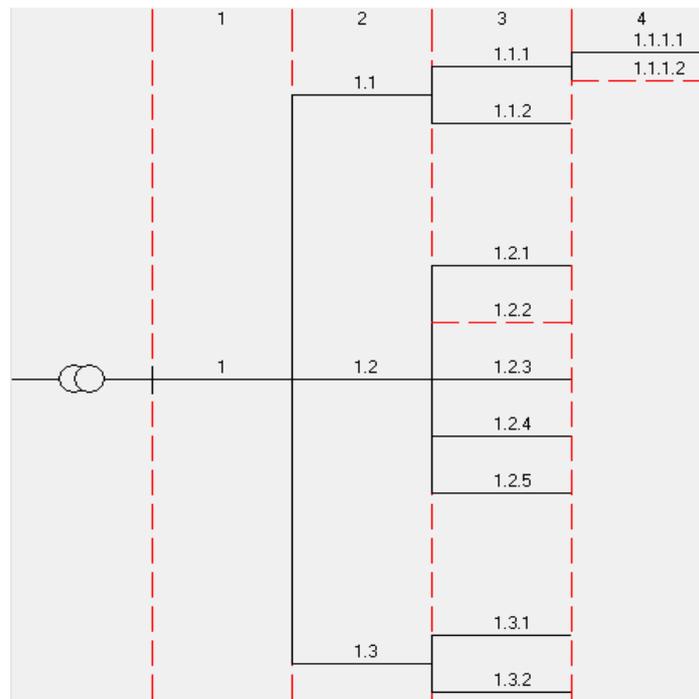


Рисунок 2 – Участок распределительной сети, имеющий сложную конфигурацию

Область применения данной методики довольно широка: она может применяться как для выборочных проверок «подозрительных» сетей, которые характеризуются существенным небалансом электроэнергии, так и для автоматического контроля, что позволит оперативно реагировать на появление неучтённых подключений. Так же данная методика позволяет контролировать сети на предмет возникновения в них участков со значительно увеличенным сопротивлением, что в свою очередь может благоприятно сказаться в борьбе с потерями в распределительных сетях низкого напряжения.

## СИЛОВЫЕ КОНТАКТНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Котов С. А. – студент группы 8-Э-52, Компанеец Б. С. к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

До 30 % пожаров и возгораний в электрооборудовании обусловлена техническим состоянием контактных соединений. Проблема контактных соединений - одно из слабых мест в электроснабжении, диагностика и контроль которых затруднен. Все существующие методики не позволяют в полной мере оценить пожарную опасность, возникающую вследствие дефекта самого контакта и повышенного нагрева контактного соединения. Кроме пожарной опасности, возникающей в контактном соединении, существует еще и экономическая составляющая, которая является также не маловажной долей расходов в электроустановках.

Прогнозирование контроля качества и надежности контактных соединений весьма сложно в силу их индивидуальности. Каждая группа контактов представляет собой систему с различными физическими и химическими процессами, и описание систем происходит по разным моделям. Все процессы, которые протекающие в их соединении, являются вероятностными и не имеют точных математических моделей[1].

Основной оценкой для нормальной работы контактных соединений является определение предельного допустимого значения сопротивления контакта, которое является одновременно одной из причин ухудшения их состояния и признаком, по которому можно их диагностировать. Переходное сопротивление определяет нагрев в соединении проводников: чем меньше переходное сопротивление контакта, тем меньше тепла выделяется в нем при прохождении тока и тем больший ток можно пустить через него при

заданной предельной температуре нагрева контактного соединения[2]. Вследствие высокой температуры на силовом соединении происходит саморазрушение контакта. Разрушение происходит за счет образования оксидных пленок на поверхности контакта, возникает высокая температура и поверхность оплавляется. Высокая температура приводит к образованию точек эффективного контакта (мостиков) в металле, которая является суммарной электропроводящей площадью, однако при охлаждении мостики разрушаются, что приводит к увеличению сопротивления. При включении мощных потребителей возникает нагрев контактного соединения, что может привести к возгоранию и воспламенению изоляции проводников и других материалов. Дополнительно к этому повышенный нагрев контакта ухудшает диэлектрические свойства изоляции проводника, тем самым ускоряя его старение, что приводит к повышенной пожарной опасности.

Практика нагрева контактных соединений показывает, что с течением времени все контактные соединения теряют свои свойства и происходит увеличение сопротивления в соединении. Любые контакты, различной твердости и силы сжатия, образуют пятно контакта лишь в нескольких точках, где расположены наибольшие выступы на поверхности. По мере увеличения давления, растет и площадь контактирующей поверхности. С ростом контактирующей поверхности уменьшается переходное сопротивление. Для каждого типа контактов существует рабочее давление  $P_p$ , при превышении которого сопротивление контакта мало уменьшается. При достижении критического давления  $P_k$  сопротивление контакта начнет возрастать, вследствие изгибания контактных поверхностей и текучести металлов. При перетяжке контактов ослабление и расшатывание контакта при нагреве (особенно при токах короткого замыкания) будет происходить быстрее, чем у нормально затянутого контакта. Эти знания используют на практике. Затягивают контакт до давления, несколько большего  $P_k$ , затем его ослабляют, тем самым добиваясь большей стабильности контакта[4].

Для оценки пожарной опасности силовых контактов были разработаны стенды с наиболее распространенными видами соединения контактов. На сегодняшний день самым распространенным видом соединения является соединительная гильза со срывными болтами. Этот вид соединения появился совсем недавно, но сейчас приобрел особенную популярность, вследствие простоты исполнения и автономности (не требует вспомогательного оборудования для установки). Он широко используется при монтаже кабельных и электрических сетей, электрощитов, при соединении проводов между собой. Каждая гильза является мультиразмерной и состоит из специального сплава. К плюсам еще можно отнести снижение материальных затрат, а также времени на электромонтажные работы. Стойкие коррозионные деформационные свойства обеспечивают хороший контакт и увеличивают срок службы кабеля. Крепление на жилах кабеля осуществляется методом завинчивания болтов со срывной головкой, обеспечивающих оптимальные механические и электрические свойства соединения при достижении установленного момента. Внутренняя поверхность гильзы рифленая, что увеличивает площадь соприкосновения контакта с токопроводящей жилой и позволяет выдержать высокие нагрузки на разрыв.

Соединение с помощью опрессовывания является быстрым, надежным, а главное отвечающим требованиям ПУЭ. Недостатки данного вида соединения заключаются в его неразборности и необслуживаемости. Процесс образования электрического контакта в соединении происходит путем обжатия гильзы с помощью механического пресса. За счет внешнего воздействия увеличения давления металл провода и корпуса претерпевает изменения, выходящие за предел упругости деформации, начинает «течь», вследствие чего образуются новые контактные пятна. Деформация сопровождается также разрушением плохо проводящей оксидной пленки, что способствует получению хорошего контакта[1].

Болтовое соединение является конструктивно простым. Легко поддаются ревизии и замене. Но имеют огромный недостаток, постепенное ухудшение свойств электрического контакта. Электрический контакт создается усилием затяжки болтов, вследствие текучести металла, создается различие температурных коэффициентов между болтом и проводом. За

счет колебаний температур происходит расширение и сжатие частей контакта, что в конечном итоге приведет к ослаблению нажатия контактных поверхностей и уменьшению количества точек соприкосновения и в результате ухудшается качество контакта.

Для определения полного сопротивления контакта нужно считать его состоящим из двух сопротивлений: сопротивление тела контакта и контактного соединения. Измерения производились при помощи прибора МИКО – 1. На испытательном стенде представлены силовые кабели с контактными соединениями, и целые кабели в качестве эталона. Результаты проведенных измерений представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Сопротивление различных видов силовых контактных соединений

Вид соединения	сопротивление контактного соединения $10^{-6}$ Ом		
	Al 35мм <sup>2</sup>	Al 50мм <sup>2</sup>	Al 70мм <sup>2</sup>
опрессовка	875,16	12,66	160,33
соединительные гильзы	-34,5	-32,66	32,83
болтовой зажим	184,33	90,33	124,83

На основании полученных данных можно выделить ряд особенностей.

Соединение силовых кабелей путем опрессовки сильно зависит от качества монтажа, поэтому результаты измерения сопротивления контакта имеют широкий диапазон разброса значений. Для такого вида соединения нужен высококвалифицированный персонал, который быстро и качественно будет выполнять соединение силовых кабелей опрессовкой.

Качество болтового соединения зависит от приложенного усилия затяжки болтов. Так же большую роль в болтовом соединении играет сечение болта и прочностью его материала. Болтовое соединение при своей простоте все же обеспечивает надежный контакт.

Наименьшее значение сопротивления показало соединение при помощи соединительной гильзы со срывными болтами. За счет увеличения общего сечения проводника путем добавления гильзы происходит снижение сопротивления, которое может оказаться даже ниже сопротивления цельного провода. Исходя, из данных можно убедиться, что соединение с помощью гильз со срывными болтами является самым надежным соединением не требующих сложных манипуляций и дополнительного оборудования.

Опыт эксплуатации показывает, что осуществление контроля качества контактного соединения в электроснабжении – довольно трудная задача. Все методы контроля сводятся к измерению одного параметра - температуры. Одним из способов контроля температуры контактных соединений является метод контроля при помощи цветowych указателей, которые наклеивают на места соединения. В нормальных условиях пленки имеет один цвет, а при превышении температуры другой. Так же используют плавящиеся указатели, термоиндикаторные краски, но основной метод, который сейчас широко применяется это инфракрасные дефектоскопы[3].

Силовые контактные соединения представляют не только высокую пожарную опасность в электроснабжении, но и создают избыточные потери электроэнергии на предприятиях и подстанциях. Современные методы контроля качества контактных соединений позволяют сократить потери энергии.

#### Список использованных источников

1. Масанов, Н. Ф. Присоединение проводников к контактными выводам электрооборудования [Текст] / Н. Ф. Масанов. – М.: Энергия, 1969,-96 с.
2. Веревкин, В. Н. Пожарная опасность электрических контактов и контактных соединений [Текст] / В. Н. Веревкин, Г. И. Смелков. – М.: МИЭЭ, 2009. – 140 с.

3. Контроль нагрева контактных соединений [Электронный ресурс]. – Электрон. Текст. Дан. – Режим доступа: <http://forca.ru/stati/podstancii/kontrol-nagreva-kontaktnyh-soedineniy.html> /Загл. с экрана.

4. Справочник по расчету и конструированию контактных частей силовых электрических аппаратов [Текст] / под ред. В. В. Афанасьева. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1988. – 384 с.

## ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

### ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

И.А. Кузнецов студент гр. Э-43, Д.Е. Латин студент гр. Э-41., Компанеев Б.С. – к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Проблемы энергетики 21 века требуют создания энергетических систем обеспечивающих высокую эффективность передачи электроэнергии. Одним из путей решения данной проблемы может стать внедрение высокотемпературных сверхпроводящих кабельных линий (ВТСП КЛ). Так ПАО «ФСК ЕЭС» приняла программу развития в которой предполагается проведение НИОКР по созданию ВТСП КЛ переменного и постоянного тока.

Важной особенностью высокотемпературных сверхпроводниковых кабельных линий является, то что они обладают сверхпроводимостью при относительно высоких температурах (-196 градусов Цельсия), что существенно упрощает процесс их охлаждения и делает возможным их внедрения в различные энергосистемы. Такие линии нашли свое применение в некоторых крупных мегаполисах как сверхпроводниковые вставки между подстанциями. Зачастую трансформаторы этих подстанций используются всего на 30-60%. Питание осуществляется путем выполнения подстанций глубокого ввода, которые запитываются по отдельным линиям высокого напряжения. При этом выполнение соединения подстанций на низкой стороне трансформатора, т.е. по линиям среднего напряжения, позволит обеспечить взаимное резервирование отдельных подстанций, что высвободит резервные мощности, в итоге это поможет снизить потери электроэнергии в сети. Также выполнение резервирования по линиям среднего напряжения позволяет использовать высвобождающиеся мощности подстанций для питания новых потребителей, без строительства новых подстанций и ввода новых линий электропередач.

Но у них есть единственный, но очень существенный недостаток- цена. Соответственно встает вопрос о экономической целесообразности применения ВТСП КЛ. С одной стороны они обеспечивают минимальные потери при передаче электроэнергии, но с другой стороны они на много дороже обычных кабельных линий с медными или алюминиевыми жилами.

Для оценки эффективности их применения необходимо оценить возникающие в них потери и затраты на производство. Сравним потери при передаче постоянного тока в ВТСП КЛ и потери в обычных кабельных линиях (с алюминиевыми или медными жилами). Учитываться будут только потери непосредственно в самих линиях. Для предметного рассмотрения затрат оценим их на примере, построенной в Санкт-Петербурге сверхпроводниковой линии постоянного тока, так как такая была введена в эксплуатацию в 2015г. Для сверхпроводящих линий постоянного тока потери энергии определяются не потерями на нагрев проводника протекающим током, а затратами энергии на поддержание линии в сверхпроводящем состоянии и будут складываться из следующих величин:

- теплопритоки через криостат – 1,5 Вт/м;
- теплопритоки через токовводы – (200–300 Вт) x 2.

Таким образом общий приток тепла в сверхпроводящую линию, при ее протяженности 10 км составляет 78,5–93,5 кВт. Данная величина увеличивается за счет сложности отвода тепла при низких температурах, таким образом при среднем коэффициенте охлаждения равном 20 получим примерно 0,31 МВА.

Потери энергии в классической линии рассчитывали по формуле (1)

$$\Delta P_{\text{КК}} = \frac{P_n^2}{U_n^2} \cdot R_{\text{кл}}, \quad (1)$$

где,  $\Delta P$ - потери на нагрев;

$P_n$  – мощность нагрузки;

$U_n$  – напряжение нагрузки;

$R_{\text{кл}}$  – сопротивление кабельной линии;

$R_{\text{кл}}$  рассчитаем по формуле (2)

$$R_{\text{кл}} = 2r_0 \cdot l, \quad (2)$$

где,  $r_0$  – сопротивление линии на километр;

$l$  – длина линии.

Полученные зависимости потерь, от передаваемой мощности представлены на графике 1.1.

Из графика видно что потери в сверхпроводниковой линии существенно ниже чем потери в обычной кабельной линии.

Но это не значит что использование ВТСП КЛ экономически более целесообразно.

Для сравнения сверхпроводниковой и обычной кабельных линий воспользуемся методом приведенных затрат. При методе приведенных затрат для каждого из рассматриваемых вариантов исполнения электрической сети рассчитываются приведенные затраты по выражению (3)

$$Z_{\text{пр.}i} = r_n K_{\text{сети.}i} + I_{\text{сети.}i} \quad (3)$$

где  $Z_{\text{пр.}i}$  - приведенные затраты по  $i$ -ому варианту исполнения электрической сети, тыс. руб.;

$r_n = 0,12$  - нормативный коэффициент эффективности капиталовложений;

$K_{\text{сети.}i}$  - единовременные капиталовложения на сооружение  $i$ -ого варианта исполнения электрической сети, тыс.руб;

$I_{\text{сети.}i}$  - ежегодные эксплуатационные издержки на  $i$ -ый вариант исполнения электрической сети, тыс.руб.



Рисунок 1.1- Зависимость потерь от мощности нагрузки при 20 кВ

После сравнения значений приведенных затрат рассматриваемых вариантов окончательно выбирают вариант исполнения электрической сети с минимальными приведенными затратами  $Z_{пр}$ . (Рисунок 1.2)

Пока рано говорить об экономической целесообразности использования высокотемпературных сверхпроводниковых кабельных линий, ввиду их высокой стоимости. Что бы использование ВТСП КЛ имело смысл нужно либо повышать передаваемую мощность, либо дождаться удешевления производства сверхпроводниковых кабельных линий. Однако сверхпроводниковые линии целесообразно применять в городских условиях, где ввиду большой стоимости земли применения большого числа кабелей с большим сечением делается невозможным.

#### Список использованных источников

1. Ершевич, В. В. Справочник по проектированию электроэнергетических систем [Текст] / В.В. Ершевич, А.Н. Зейлигер, Г.А. Илларионов [и др.]; под ред. С.С. Рокотяна, И.М. Шапиро. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 352 с.
2. Герасименко, А. А. Передача и распределение электрической энергии [Текст] : учебное пособие / А.А. Герасименко, В.Т. Федин. — 4-е изд., стер. — Москва : КноРус, 2014. - 648 с. - (Бакалавриат). - Библиогр. : с. 642-645.- ISBN 978-5-406-03226-8. (25 экз.)
3. Сытников В.Е. Применение ВТСП кабельных линий постоянного тока в электроэнергетике [Текст] ; Энергия единой сети ; 2015 ; 3 [20] ; 28-39.

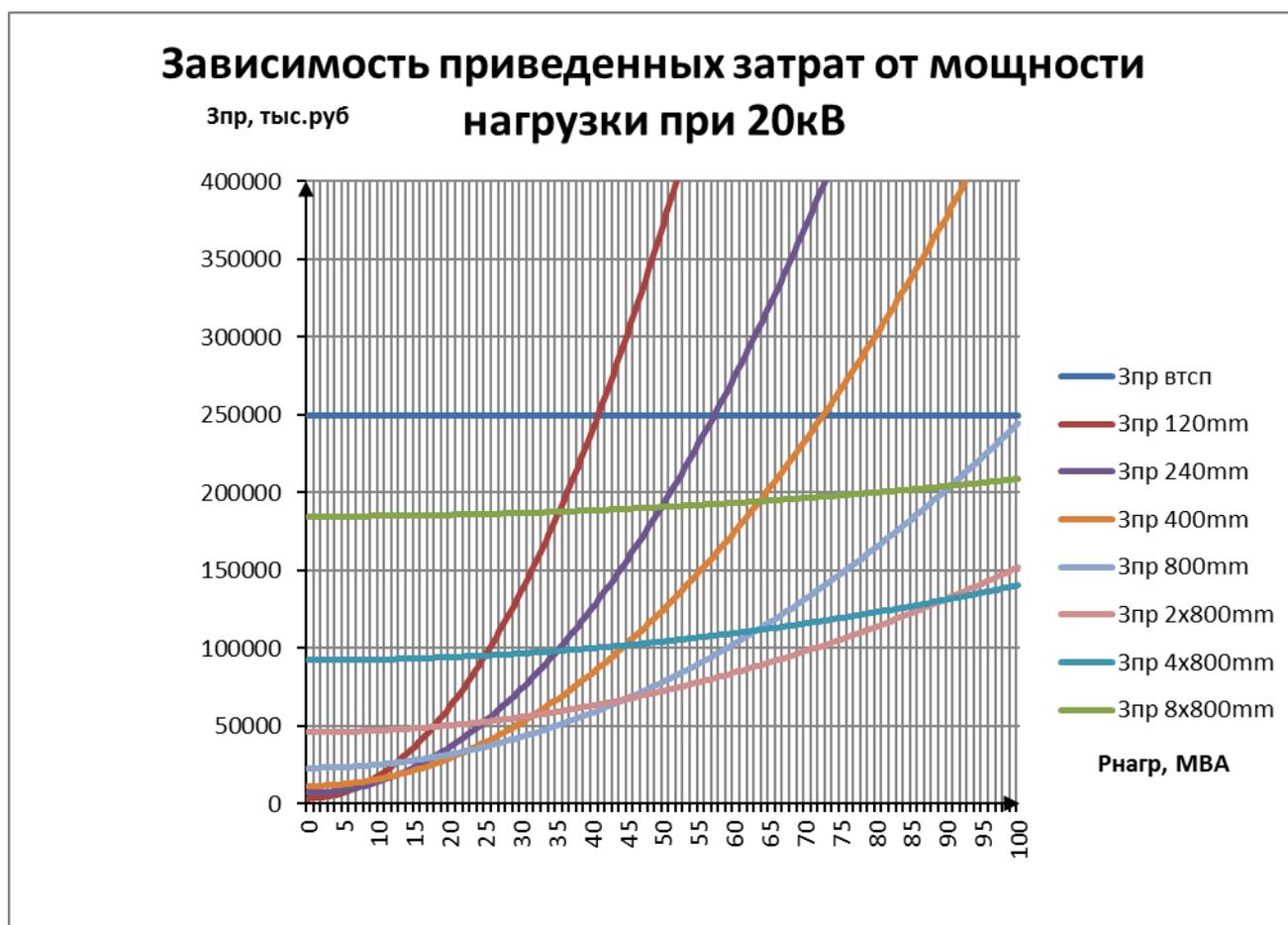


Рисунок 1.2 - Зависимость приведенных затрат от мощности нагрузки при 20 кВ

Ежегодно масштабы применения осветительных установок увеличиваются и, соответственно, растет количество электроэнергии, потребляемой для их функционирования. В России на работу осветительных установок расходуется примерно 15% электроэнергии производимой за год. В масштабах всей страны это очень большое значение. Учитывая ежегодный рост цен на электроэнергию и энергоносители, задача энергосбережения, в том числе и в системах электрического освещения, становится все более актуальной.

Для решения этой проблемы правительством Российской Федерации был принят Федеральный закон от 23.11.2009 г. № 261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (с изм. и доп., вступ. в силу с 29.12.2014)[1]. Одним из важных разделов этого закона является повышение энергоэффективности и энергосбережения в системах электрического освещения.

Энергосбережение - это осуществление технических, организационных, правовых, экономических и других мер, которые направлены на снижение объема используемых энергетических ресурсов [2].

Задачи работы по повышению энергосбережения в системах электрического освещения заключаются в следующем:

- провести анализ проблем энергопотребления в системах освещения;
- рассмотреть методы и способы энергосбережения в системах освещения;
- обобщить полученную в результате исследования информацию, сделать выводы и разработать простые и понятные методики повышения уровня энергосбережения при использовании осветительных установок

Проблемы низкой энергоэффективности использования систем освещения заключаются в применении устаревших и энергозатратных источников освещения, низкой грамотности населения и руководства предприятий(учреждений) в области энергосбережения.

Методы решения данной проблемы включают в себя как техническую, так и организационно правовую сторону (рисунок 1).

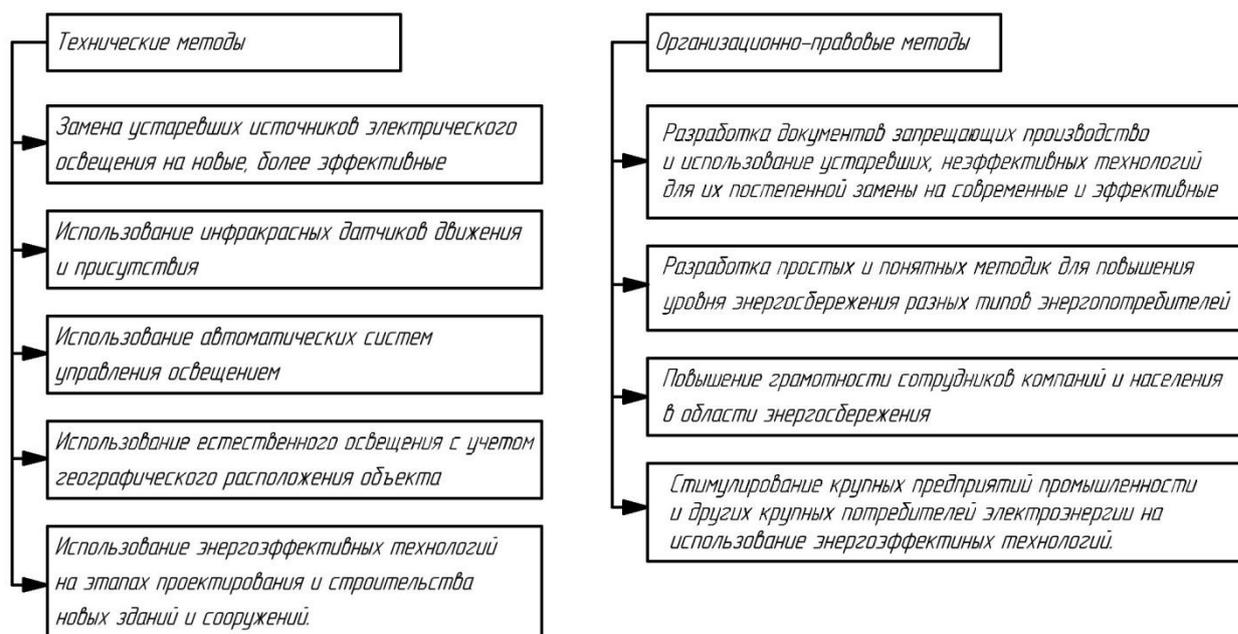


Рисунок 1 – Методы повышения энергоэффективности в системах электрического освещения

В результате комплексного применения вышеуказанных методов можно значительно снизить потребление электроэнергии, а, следовательно, и энергоресурсов необходимых для

ее производства, без ухудшения характеристик освещения.

#### Список использованных источников

1. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации [Электронный ресурс] / Федеральный закон РФ от 23 ноября 2009 года N 261-ФЗ - Режим доступа: <http://www.energsovet.ru/npb1189.html>, свободный - Загл. с экрана.

2. Куликова, Л.В. Методология энергоэффективности: Учебное пособие по дисциплине «Методология энергоэффективности»; направление подготовки «Электроэнергетика и электротехника» магистерской программы по профилям: «Электротехнологии и надежность электрооборудования», «Электротехнологии и электрооборудование в агропромышленном комплексе», «Синтез систем автоматического управления электроприводами» /Л.В. Куликова: Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2015. – 156 с.

### АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАТЫ ЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРИСОЕДИНЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ К ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СЕТЯМ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Мельников В. А. – студент гр. 8-Э-62, Куликова Л. В. – д.т.н., профессор

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

В условиях постоянно повышающегося спроса на технологическое присоединение к электрическим сетям анализ проблем, возникающих при формировании платы за технологическое присоединение потребителей, приобретает особую актуальность.

В данной работе выполняется анализ формирования платы за технологическое присоединение потребителей к электрическим сетям в Российской Федерации, определение существующих проблем тарифной политики в сфере технологического присоединения к электрическим сетям в Российской Федерации.

Размер платы за технологическое присоединение энергопринимающих устройств потребителей к электрическим сетям устанавливается органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации в области государственного регулирования тарифов на основании следующих документов:

- Федеральный закон № 35-ФЗ от 26.03.2003 г. (ред. от 28.12.2016 г.) «Об электроэнергетике»;

- Постановление Правительства Российской Федерации от 29.12.2011 г. № 1178 (ред. от 20.01.2017 г.) «О ценообразовании в области регулируемых цен (тарифов) в электроэнергетике»;

- Приказ Федеральной службы по тарифам от 11.09.2012 г. № 209-э/1 (ред. от 01.08.2014 г.) «Об утверждении методических указаний по определению размера платы за технологическое присоединение к электрическим сетям» (зарегистрировано в Минюсте России 28.11.2012 г. № 25948).

Органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации в области государственного регулирования тарифов для расчета платы за технологическое присоединение к территориальным распределительным сетям утверждаются:

а) на очередной период регулирования:

- стандартизированные тарифные ставки (руб./кВт, руб./км);

- ставки за единицу максимальной мощности (руб./кВт);

- формула платы за технологическое присоединение.

б) по обращению ТСО плата за технологическое присоединение к электрическим сетям энергопринимающих устройств отдельных потребителей максимальной мощности не менее 8900 кВт и на уровне напряжения не ниже 35 кВ и объектов по производству электрической энергии, а также при присоединении по индивидуальному проекту [1].

Заявитель на стадии заключения договора самостоятельно выбирает вид ставки, применяемой для расчета платы за технологическое присоединение [2].



Рисунок 1 – Составляющие для формирования ставок для расчета платы за технологическое присоединение

При формировании ставок для расчета платы за технологическое присоединение учитываются следующие составляющие, представленные на рисунке 1.

«Расходы на чернила» включают в себя расходы на проведение организационных мероприятий, необходимых для осуществления технологического присоединения, а именно:

- подготовка и выдача сетевой организацией технических условий заявителю;

- проверка сетевой организацией выполнения заявителем технических условий;
- участие сетевой организации в осмотре (обследовании) должностным лицом органа федерального государственного энергетического надзора присоединяемых устройств;
- фактические действия по присоединению и обеспечению работы устройств к электрической сети.

Под расходами на строительство объектов «последней мили» подразумеваются расходы сетевых организаций на строительство объектов электросетевого хозяйства.

Инвестиционная составляющая на покрытие расходов, направленных на развитие существующих инфраструктур, исключена из состава платы за технологическое присоединение и перенесена в состав тарифа по передачи электрической энергии. Это позволило значительно снизить средний размер платы за технологическое присоединение к электрическим сетям.

По данным ПАО «Россети», средний размер платы за технологическое присоединение в 2015 г. снизился на 75% по отношению к 2009 г.

Динамика изменения среднего размера платы за технологическое присоединение за период 2009-2015 гг. представлена в таблице 1 и на рисунке 2 [3].

Таблица 1 – Динамика изменения среднего размера платы за технологическое присоединение за период 2009-2015 гг.

Год	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Средний размер платы за технологическое присоединение, руб./кВт	8003	9497	6973	4931	2926	2606	2007

Снижение среднего размера платы за технологическое присоединение за период 2009-2015 гг. объясняется введением льготной ставки («550 рублей») для потребителей максимальной мощности до 15 кВт включительно.

Кроме того, с 1 октября 2015 г. из размера платы за технологическое присоединение энергопринимающих устройств максимальной мощности до 150 кВт исключено 50% инвестиционных затрат сетевых организаций на строительство объектов «последней мили», а с 1 октября 2017 г. - 100% [4].

Таким образом, несмотря на существенное снижение среднего значения размера платы за технологическое присоединение энергопринимающих устройств, можно выделить

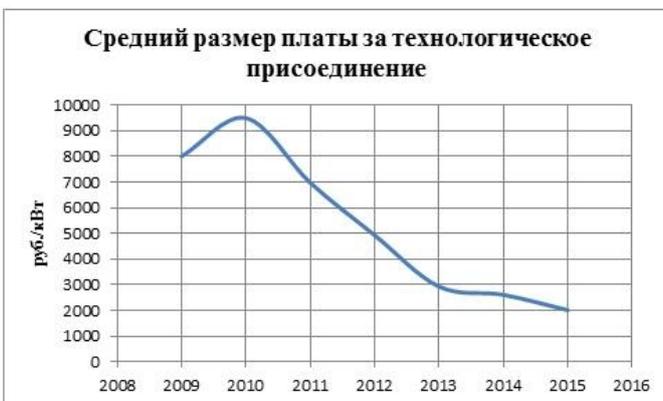


Рисунок 2 – Динамика изменения среднего размера платы за технологическое присоединение за период 2009-2015 гг.

технологическое присоединение энергопринимающих устройств, можно выделить

следующие проблемы тарифной политики в сфере технологического присоединения к электрическим сетям в Российской Федерации:

1) осуществляя плату за технологическое присоединение не по льготной ставке («550 рублей»), потребитель безвозмездно финансирует инфраструктуру сетевой организации, которая в дальнейшем используется ей для осуществления услуг по передаче электрической энергии. Одновременно с этим потребитель не имеет никаких прав на финансируемые им объекты электросетевого хозяйства;

2) возможны злоупотребления потребителем льготными ставками («550 рублей») на технологическое присоединение: разбиение одной заявки максимальной мощности более 15 кВт на несколько заявок с максимальной мощностью, не превышающей 15 кВт;

3) отсутствие обязательств, возлагаемых на потребителя, по оплате услуг по передаче и использованию предоставленного ему присоединения создает возможность технологического присоединения к сети заведомо больших максимальных мощностей энергопринимающих устройств без конкретных планов на дальнейшее их использование;

4) содержание неиспользуемых потребителем мощностей передается сетевой организации, так как законодательно установлено, что потребитель оплачивает объем услуг по передаче электрической энергии только исходя из объемов потребления электроэнергии или на основе фактически используемой мощности;

5) органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации в области государственного регулирования тарифов учитываются не в полной мере выпадающие расходы сетевых организаций при формировании тарифа на услуги по передачи электрической энергии. Это связано с наличием льготных потребителей (ставка «550 рублей» (до 15 кВт включительно), предоставление рассрочки платежа (до 150 кВт)) [5];

6) наблюдаются существенные различия в значении размера платы за технологическое присоединение энергопринимающих устройств в отдельных регионах Российской Федерации. Это создает условия для формирования неравномерного экономического развития регионов [6, 7].

#### Список использованных источников

1. Методические указания по определению размера платы за технологическое присоединение к электрическим сетям [Электронный ресурс] / приказ Федеральной службы по тарифам России от 11.09.2012 г. №209-э/1 - Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_138396](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_138396), свободный - Загл. с экрана.

2. Об утверждении Правил недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии и оказания этих услуг, Правил недискриминационного доступа к услугам по оперативно-диспетчерскому управлению в электроэнергетике и оказания этих услуг, Правил недискриминационного доступа к услугам администратора торговой системы оптового рынка и оказания этих услуг и Правил технологического присоединения энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии, объектов по производству электрической энергии, а также объектов электросетевого хозяйства, принадлежащих сетевым организациям и иным лицам, к электрическим сетям [Текст]: Постановление Правительства РФ от 27.12.2004 №861 // Собрание законодательства Российской Федерации. - 2004. - №52 (часть II). - Ст. 5525.

3. Годовой отчет ПАО «Россети» за 2015 г. [Электронный ресурс] / ПАО «Россети» - Режим доступа: [http://www.rustocks.com/put.phtml/MRKH\\_2015\\_RUS.pdf](http://www.rustocks.com/put.phtml/MRKH_2015_RUS.pdf), свободный - Загл. с экрана.

4. О внесении изменений в основы ценообразования в области регулируемых цен (тарифов) в электроэнергетике [Электронный ресурс] / постановление Правительства Российской Федерации от 29.10.2014 г. №1116 - Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_170421](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_170421), свободный - Загл. с экрана.

5. Григорьев, А. В. Технологическое присоединение к сетям: реформа продолжается [Текст] / А. В. Григорьев, Е. Н. Рудаков, А. М. Фадеев // Энергорынок. - 2015. - № 6.

6. Репетюк, С.В. Сравнительный анализ практики технологического присоединения

потребителей к электрическим сетям в России и зарубежных странах [Текст]: научно-исследовательская работа, выполненная в соответствии с Государственным заданием РАНХиГС при Президенте Российской Федерации / С. В. Репетюк, Б. И. Файн, О. О. Мозговая, О. В. Темная; Институт экономики естественных монополий. - Москва, 2016. - 56 с.

7. Суюнчев, М. М. Межрегиональная дифференциация тарифов на электрическую энергию в Российской Федерации [Текст] / М. М. Суюнчев, С. В. Репетюк, Б. И. Файн, О. О. Мозговая и др. // Экономическая политика. - 2014. - № 1.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ОСНОВАНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА ЭНЕРГИИ

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

Сальников А. В. – студент гр. 8-Э-62; Караваев А. Г – студент гр. 8-Э-62

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

На сегодняшний день актуальной является проблема нормирования воздействия электромагнитного поля (ЭМП) на человека. Ведущие научные организации публикуют обращения к руководству ООН, ВОЗ, программы ООН по окружающей среде и странам-членам ООН с призывом обратить внимание на опасности неионизирующих электромагнитных излучений [1]. В России действуют нормативные документы [2–11], 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>, причём данная величина измеряется только на сверхвысоких частотах.

Нормирование ППЭ является важным мероприятием, поскольку именно сверхвысокие частоты являются наиболее опасными при воздействии их на живые организмы (что подтверждается более строгими нормами на высоких частотах). В то же время, современные методы моделирования электромагнитной обстановки (ЭМО) [12–14] позволяют осуществлять численное моделирование на основании известных показателей  $E$  и  $H$ , и, как правило, не рассматривают прямое моделирование на основании данных о ППЭ.

По результатам исследования этого вопроса [15] предлагаются различные способы проведения гибридных замеров ППЭ и какой-либо дополнительной величины ( $E$  или  $H$ ). Однако, проведение замеров сразу нескольких параметров электромагнитного поля, да ещё и в течение короткого промежутка времени в тех же точках пространства, представляется весьма трудоёмким.

Предлагается к применению вариант моделирования, который не требует измерения каких-то дополнительных величин, кроме ППЭ.

При проведении практических измерений распространение электромагнитного поля происходит в основном в воздушной среде, обладающей известными электромагнитными свойствами (т.н. волновым сопротивлением вакуума), которые устанавливают зависимость между проходящими электрическими и магнитными возмущениями. Поэтому, используя формулу волнового сопротивления, можно получить из ППЭ величины  $E$  и  $H$ , необходимые для моделирования:

$$E = \sqrt{\text{ППЭ} \cdot Z_0},$$
$$H = \sqrt{\text{ППЭ}/Z_0},$$

где  $Z_0$  — волновое сопротивление вакуума, Ом.

Произведя таким образом переход от экспериментально полученных значений ППЭ к экспериментально полученным значениям  $E$  и  $H$ , можно проводить моделирование в соответствии с общепринятыми методиками.

#### Список использованных источников

1. International Appeal: Scientists call for Protection from Non-ionizing Electromagnetic Field Exposure. URL: <https://www.emfscientist.org/index.php/emf-scientist-appeal>
2. СанПиН 2.2.4.1191-03. электромагнитные поля в производственных условиях, 2003.
3. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03. гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических устройств, 2003.
4. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы, 2003.
5. МГСН 2.03-97. допустимые параметры электромагнитных излучений в помещениях жилых и общественных зданий и на селитебных территориях, 1997.
6. 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.
7. МУК 4.3.679-97. определение уровней магнитного поля в местах размещения передающих средств радиовещания и радиосвязи кило-, гекто- и декаметрового диапазонов, 1997.
8. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96. электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ), 1996.
9. МГСН 12.1.006-84. электромагнитные поля радиочастот. допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля, 1984.
10. МУК 4.3.1167-02. определение плотности потока энергии электромагнитного поля в местах размещения радиосредств, работающих в диапазоне частот 300 мГц—300 гГц, 2002.
11. Постановление 848-70. санитарные правила и нормы при работе с источниками электромагнитных полей высоких, ультравысоких и сверхвысоких частот.
12. Боголюбов А.Н., Буткарев И.А., Дементьева Ю.С. Численное моделирование двумерных фотонных кристаллов // Журнал радиоэлектроники. 2006. № 5.
13. Мигалёв И.Е. Практическое применение метода конечных разностей во временной области к моделированию электромагнитного поля. 2012. № 4.
14. Дейнега А.В. Численное моделирование и компьютерный дизайн оптических свойств наноструктурированных материалов: диссертация к.т.н. Москва: Российский научный центр «Курчатовский институт», 2010.
15. Мигалёв И. Е., Титов Е. В., Сальников А. В., Караваев А. Г. Разработка модели плотности потока энергии электромагнитного поля. Материалы XIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Наука и молодёжь» — Барнаул, 2016 г.

#### ЭКРАНИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ КЛЕТОК ФАРАДЕЯ

Мигалёв И. Е. – соискатель степени к.т.н.; Титов Е. В. – к.т.н., доцент;  
Караваев А. Г. – студент гр. 8-Э-62; Сальников А. В. – студент гр. 8-Э-62  
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова (г. Барнаул)

На сегодняшний день актуальной является проблема нормирования воздействия электромагнитного поля (ЭМП) на человека. Ведущие научные организации публикуют обращения к руководству ООН, ВОЗ, программы ООН по окружающей среде и странам-членам ООН с призывом обратить внимание на опасности неионизирующих электромагнитных излучений [1]. В связи с этим актуальной является проблема защиты от электромагнитных излучений определённых объектов, помещений, элементов оборудования.

Одним из эффективных методов экранирования электромагнитных полей, не требующим создания сплошных экранов, является экранирование при помощи т.н. сетки Фарадея [2]. Сетка Фарадея является менее эффективным экранирующим устройством, чем

сплошной металлический экран, но может при этом пропускать свет, материал и газы через отверстия сетки, что является важным для функционирования, диагностики и вентиляции некоторых источников электромагнитного поля.

До недавнего времени практически все свойства экранирующих сеток устанавливались экспериментально, и не было полностью математически корректного исследования их свойств. Однако, такие исследования появились лишь недавно [3].

Свойства сетки Фарадея зависят от частоты экранируемого излучения, материала и шага сетки.

Было проведено несколько экспериментов с СВЧ-печами и различными конфигурациями экранирующих устройств, которые позволили получить оценку эффективности различных видов экранирования. Эксперименты помогли установить, что каждый дополнительный слой защиты позволяет задерживать около половины поступающей энергии электромагнитного поля.

По результатам анализа можно утверждать, что применение клеток Фарадея и экранирования сплошным металлическим листом — эффективные мероприятия для того, чтобы сдерживать распространение электромагнитного поля.

#### Список использованных источников

1. International Appeal: Scientists call for Protection from Non-ionizing Electromagnetic Field Exposure. URL: <https://www.emfscientist.org/index.php/emf-scientist-appeal>
2. M. Faraday, Experimental Researches in Electricity, Vol. 1, reprinted from Philosophical Transactions of 1831–1838, Richard and John Edward Taylor, London, 1839 (paragraph 1174, p. 366); URL: [www.gutenberg.org/ebooks/14986](http://www.gutenberg.org/ebooks/14986).
3. Chapman, Jonathan S., Hewett, David P., Trefethen, Lloyd N. Mathematics of the Faraday Cage. SIAM Review, Vol. 57, No. 3, pp. 398—417. Society for Industrial and Applied Mathematics, 2015.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТАРИЯ MEER ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Мигалёв И. Е. – соискатель степени к.т.н.; Титов Е. В. – к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова (г. Барнаул)

В связи с развитием в последние годы вычислительной техники, появляется всё больше практически применимых средств моделирования электромагнитного поля в различных режимах. Одним из таких средств является инструментарий Meer (MIT Electromagnetic Equation Propagation), разработанный в MIT [1].

Meer обладает некоторыми преимуществами по сравнению с аналогичными инструментами, распространёнными сегодня: он является полностью бесплатным, позволяет полностью контролировать условия численного эксперимента, обладает специальными средствами для создания масштабных моделей. В связи с этим видится целесообразным рассмотреть применение Meer для моделирования электромагнитной обстановки в помещениях, основанного на результатах измерений параметров электромагнитного поля.

Программное обеспечение Meer предназначено для работы в POSIX-совместимой среде (GNU/Linux и аналогичные); для установки на ОС Windows можно использовать слой совместимости Cygwin или современную подсистему WSL.

Рассмотрим задачи, которые необходимо решить для создания в Meer модели для следующих условий: моделирование трёхмерного участка пространства размером 3 x 3 x 3 м, в котором находится излучающий куб ребром 1 м. Частота излучения 30 МГц, амплитуда излучения 10 В/м.

В первую очередь следует перевести единицы измерения в относительные единицы. Meer использует специальный набор единиц измерения, который минимизирует наличие в

формулах различных размерных констант, в связи с чем все исходные данные следует перенормировать.

Сначала выбирают множитель для пространственных единиц измерения  $a$ . Выберем

$$a = 0,1 \text{ м.} \quad (1)$$

Имея  $c = 299792458 \text{ м/с}$  и  $f = 30000000 \text{ Гц}$ , вычисляют длину волны излучения:

$$\lambda = c / f = 299792458 / 30000000 = 9,993 \text{ м.} \quad (2)$$

Отсюда вычисляют частоту излучения в безразмерных единицах:

$$f = 1 / \lambda = 1 / 9,993 = 0.1. \quad (3)$$

Опишем модельное пространство и схему эксперимента. Описание модели для Meep представляет собой программу на диалекте языка программирования Scheme и состоит из нескольких секций. Секция описания пространственной сетки:

```
(set! geometry-lattice (make lattice (size 30 30 30)))
```

Используется число 30, потому что размер моделируемого помещения — 30 относительных единиц, т.е. 3 м.

Секция описания геометрии находящихся в помещении объектов:

```
(set! geometry (list  
  (make block (center 0 0) (size 10 10 10)  
    (material (make dielectric (epsilon 12)))))
```

Данная секция определяет один объект в пространстве: блок размерами 10 x 10 x 10 относительных единиц, центр которого совпадает с началом координат. Для материала блока указан показатель  $\epsilon = 12$ .

Секция описания источников электромагнитного поля:

```
(set! sources (list  
  (make source  
    (src (make continuous-src (frequency 0.1)))  
    (amplitude 10.0)  
    (component Ez)  
    (center 0 0 0) (size 5 5 5)))
```

Указан один источник частотой 0,1 относительной единицы амплитудой 10 относительных единиц (которые принимаем равными 1 В/м). Создаваемое поле направлено вдоль оси  $z$ , размер источника — 5 x 5 x 5 относительных единиц (0,5 м).

Секция описания согласованных слоёв (PML, perfectly matched layers):

```
(set! pml-layers (list (make pml (thickness 1.0))))
```

Идеально согласованные слои — это абстракция, часто применяющаяся при моделировании электромагнитного поля. Она определяет, каким образом моделировать эффекты на границах модельного пространства [2, 3]. В данном случае указаны слои толщиной 1 относительную единицу.

Секция разрешения:

```
(set! resolution 1)
```

Указано разрешение, совпадающее с размером относительной единицы; если требуется повысить точность измерений, разрешение можно увеличить.

Секция проведения эксперимента:

```
(use-output-directory)  
(run-until 1000  
  (at-beginning output-epsilon)  
  (to-appended "ez" (at-every 1 output-efield-z)))
```

Данная секция указывает, что выходные данные нужно поместить в отдельный каталог, и нужно выгружать результаты моделирования компонента  $z$  электрического поля  $E$  в течение каждого временного шага.

Моделирование проводится из POSIX-совместимой командной оболочки `bash` следующей командой:

```
$ meep ./research.ctl
```

Эта команда создаст HDF5-файл с результатами измерения. Для того, чтобы просмотреть HDF5-файл, можно выгрузить его в разные форматы: набор PNG-изображений, GIF-анимация, или интерактивный формат VTK. Для использования последнего можно воспользоваться программой h5tovtk из пакета h5utils:

```
$ for t in $(seq -f "%03g" 0 999)
. do
. h5tovtk -t $t research-out/ez.h5 -o research-out/ez_$.vtk
. if [[ $((10#$t % 10)) -eq 0 ]]
. then echo "$t of 1000 completed"
. fi
. done
```

Результат моделирования во времени и пространстве можно посмотреть с помощью любого VTK-совместимого инструмента — например, бесплатной программы ParaView. Результат приведён на рисунке 1.

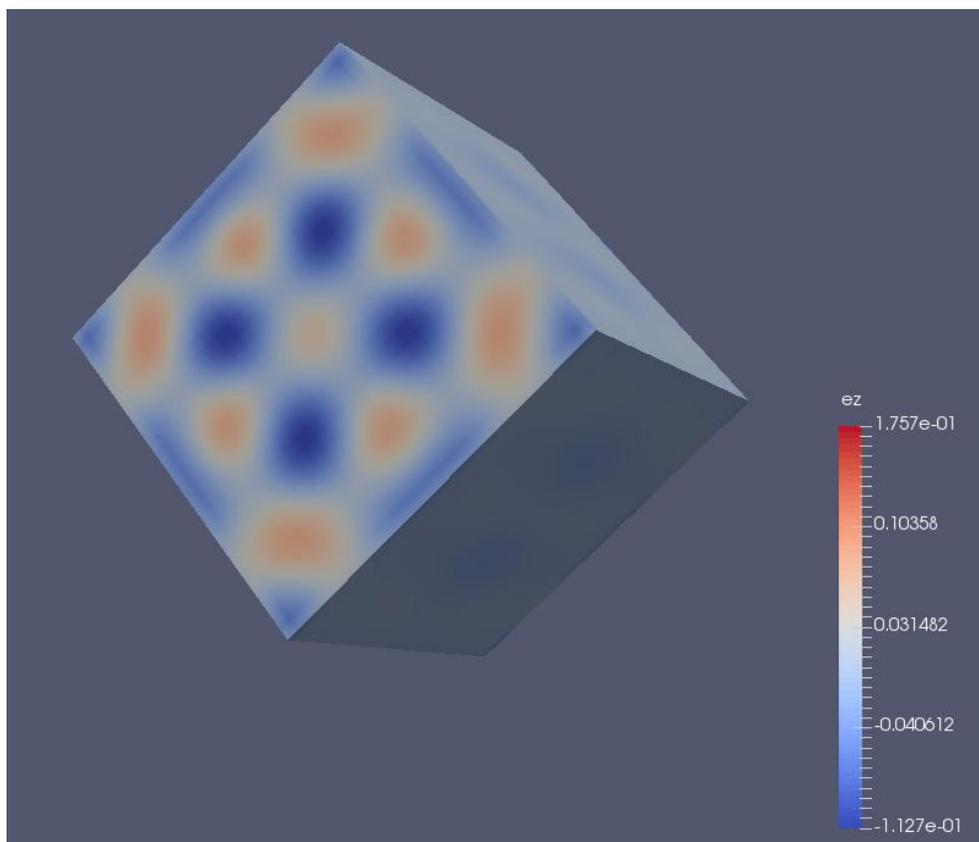


Рисунок 1 — Результат моделирования в ParaView

Инструментарий Меер представляет современные, гибкие средства для моделирования электромагнитного поля, и может быть рекомендован к практическому применению при моделировании электромагнитной обстановки помещений.

#### Список использованных источников

1. Ardavan F. Oskooi, David Roundy, Mihai Ibanescu, Peter Bermel, J. D. Joannopoulos, and Steven G. Johnson, “MEEP: A flexible free-software package for electromagnetic simulations by the FDTD method,” *Computer Physics Communications* 181, 687–702 (2010). URL: <http://math.mit.edu/~stevenj/papers/OskooiRo10.pdf>

2. Дейнега А.В. Численное моделирование и компьютерный дизайн оптических свойств наноструктурированных материалов: диссертация к.т.н. Москва: Российский научный центр “Курчатовский институт”, 2010.

3. Мигалёв И.Е. Практическое применение метода конечных разностей во временной области к моделированию электромагнитного поля. 2012. № 4.

## АНАЛИЗ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Мишанкин С. А. – студент группы 8-Э-62, Куликова Л. В. – д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова (г. Барнаул)

Наиболее важным количественным и качественным показателем технического состояния электрических сетей, а также качественного уровня их эксплуатации является величина потерь электрической энергии и доступные возможности снижения уровня потерь при передаче ее по электрическим сетям.

Потери – это разность между количеством электроэнергии, полученной сетью от электростанций, и электроэнергией, оплаченной потребителями. Фактические общие потери могут быть разделены на четыре составляющие.

Технические потери, обусловленные физическими процессами, происходящими при передаче электроэнергии по сетям. Технические потери не могут быть измерены. Их значения получают расчетным путем на основе законов электротехники [1].

Естественные потери, которые возникают при эксплуатации трансформатора, могут возникать в результате физического износа, нерационального использования устройства (недогруженность, режимы включения/выключения).

Потери, обусловленные инструментальными погрешностями ее измерения (инструментальные потери). Эти потери получают расчетным путем на основе данных о метрологических характеристиках и режимах работы используемых приборов [1].

Коммерческие потери, обусловленные хищениями электроэнергии, несоответствием оплаты, показаниям счетчиков и другими причинами в сфере организации контроля за потреблением энергии. Коммерческие потери не имеют математического описания и не могут быть рассчитаны. Их значение - это разница между фактическими (отчетными) потерями и суммой первых трех составляющих, представляющих собой технологические потери [2].

Международные эксперты читают, что относительные потери электроэнергии при ее передаче и распределении в электрических сетях можно считать удовлетворительными, если они не превышают 4-5%. Такое положение характерно для большинства стран [3].

В настоящее время в России относительные потери электроэнергии в 2-2,5 раза превышают уровень потерь в промышленно развитых странах (в США - 9%, в Японии - 5-6%, в странах ЕС они составляют 4-10%) (Таблица 1). Для электросетевых организаций характерно значительно больший уровень потерь, который достигает 20% от отпуска электроэнергии в сеть, а в некоторых регионах — 30-40%.

Таблица 1 – Потери электроэнергии в сетях европейских стран

Страна	Средний % потерь в основной сети	Средний % потерь в распределительной сети
Австрия	1,5 % от отпуска из сети	4,5 % от отпуска из сети
Чешская республика	1,5 % от отпуска из сети	7,0 % от отпуска из сети
Финляндия	1,6 % от отпуска из сети	4,7 % от отпуска из сети
Франция	2,3 % от отпуска из сети	5,0 % от отпуска из сети
Греция	2,4 % от отпуска из сети	6,8 % от отпуска из сети
Норвегия	1,6 % от отпуска из сети	5,0 % от отпуска из сети
Португалия	1,1 % от отпуска из сети	6,4 % от отпуска из сети
Испания	1,2 % от отпуска из сети	7,1 % от отпуска из сети
Швеция	2,1 % от отпуска из сети	2,3 % от отпуска из сети
Великобритания	1,6 % от отпуска из сети	6,0 % от отпуска из сети

Можно выделить следующие факторы, которые определяют высокий уровень потерь электроэнергии в распределительных сетях энергосистем:

- неоптимальными режимами работы сетей (эти режимы характеризуются большим разбросом активной и реактивной мощностей);
- отклонением напряжения в узлах (завышенным в сетях высокого напряжения и заниженным в удаленных от центров питания точках сетей классов напряжения 35; 10; 0,4 кВ);
- недостатком регулирующих средств, отсутствием и (или) неудовлетворительной компенсацией реактивной мощности;
- неравномерностью графиков электрических нагрузок с большими пиками в часы максимума нагрузок и провалами в часы минимума;
- низкими показателями качества электрической энергии (несинусоидальность напряжения);
- неравномерностью нагрузки фаз (несимметрия напряжений трехфазной сети);
- неэффективного учета электроэнергии (отсутствия средств телеизмерений, недостаточного количества измерительных комплексов электроэнергии).

Указанные факторы часто приводят к росту экономического ущерба энергоснабжающих организаций из-за низкого технического уровня системы учета электроэнергии, ее физического и морального износа, несоответствия современным требованиям.

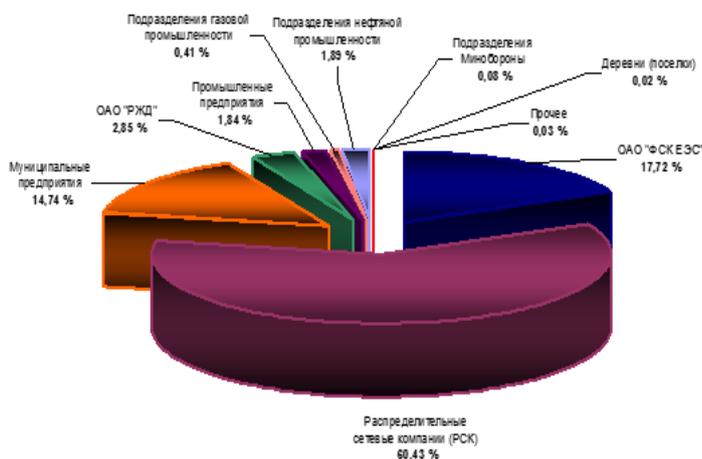


Рисунок 1 – Доли фактических потерь электроэнергии (данные Росстата)

В настоящее время доли фактических потерь электроэнергии можно представить следующим образом (Рисунок 1), где потери в распределительных сетевых компаниях (РСК) составляют 60,43%.

По данным профессора В.Э. Воротницкого [2, 3, 4] структуру технических потерь электроэнергии определяют следующие составляющие: нагрузочные потери в линиях, потери холостого хода и нагрузочные потери в трансформаторах, условно-постоянные потери и потери в

токоограничивающих реакторах (ТОР) (Таблица 2).

Таблица 2 – Структура технических потерь электроэнергии

Нагрузочные потери в линиях	Потери XX в трансформаторах	Нагрузочные потери в трансформаторах	Условно-постоянные потери	Потери в токоограничивающих реакторах
66,66 %	16,09 %	8,53 %	8,28 %	0,44 %

Из анализа структуры технических потерь электроэнергии следует, что необходимо снижать нагрузочные потери линиях (66,66 %), для чего следует достоверно определять эти потери, выявлять причины высокого уровня этих потерь и разрабатывать мероприятия по снижению потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям.

#### Список использованных источников

1. Технологические и коммерческие потери в сетях – одна из главных проблем энергоснабжающих организаций и РЭК. Форум «Регулируемый и конкурентный рынок электроэнергии» это подтвердил / Ю. Железко // Новости ЭлектроТехники. — 2003. — №5. — С. 4.
2. Воротницкий, В. Э. Снижение потерь электроэнергии в электрических сетях.

Динамика, структура, методы анализа и мероприятия / В. Э. Воротницкий, М. А. Калинкина, Е. В. Комкова, В. И. Пятигор // Журнал энергосервисной компании «Экологические системы». — 2005. — №7. — С. 9 - 10.

3. Воротницкий, В.Э. Снижение потерь электроэнергии – стратегический путь повышения энергоэффективности сетей / В.Э. Воротницкий, В.В. Овсейчук, Г.А. Кутовой / Новости ЭлектроТехники. – 2015. - № 3.

4. Воротницкий, В.Э. Основные направления снижения потерь электроэнергии в электрических сетях // Энергия единой сети. 2013. - № 2(7). – С. 24-35.

## АНАЛИЗ И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ НОРМАТИВНОЙ ПРАВОВОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Нурбатырова Л.Н. – студент гр. 8-Э-62, Куликова Л.В. – д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова (г. Барнаул)

В настоящее время социальное и экономическое развитие многих развитых стран, поддерживается на постоянном уровне за счет преимущественно не возобновляемых источников энергии, однако неисчерпаемость запасов под сомнением и ставит под угрозу возможность дальнейшего развития экономики, и возможность поддержания ее на приемлемом уровне. Энергоэффективность встает в один ряд с наиболее актуальными проблемами человечества.

Энергосбережение направлено на действенное использование топливно-энергетических ресурсов, и на развитие и внедрение возобновляемых источников энергии. В РФ в последнее время значительное внимание уделяется вопросам энергосбережения и энергоэффективности, что отражено в таком основополагающем документе как «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года» [1].

Взаимоотношения в сфере энергосбережения и увеличения показателей энергетической эффективности строятся на основании Федерального закона РФ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» [2] и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 № 261.

Ориентиром указанного закона является создание и выполнение правовых, организационных и экономических основ, а также мотивация энергосбережения и увеличения показателей энергетической эффективности.

Анализируя современную нормативную правовую документацию в области энергосбережения можно определить, что в не входят: ФЗ РФ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ» № 261, другие ФЗ, принимаемые в соответствии с ними иные нормативно- правовые акты РФ. Законы и прочие субъектные и муниципальные нормативно-правовые акты, в области энергосбережения и увеличения показателей энергетической эффективности.

Анализ нормативных документов демонстрирует, что функция государства не может сводиться только к финансированию. Органы государственной власти РФ располагают полномочиями разрабатывать и внедрять государственную политику, осуществлять программы, осуществлять контроль в реализации мероприятий по энергосбережению, устанавливать порядок определения классов энергетической эффективности, и прочие полномочия в сфере энергосбережения и увеличения показателей энергетической эффективности, которые регламентируются федеральными законами и нормативно-правовыми актами Российской Федерации.

Типичные полномочия доведены и закреплены за органами государственной власти субъектов РФ, а также органами местного самоуправления.

В Российской Федерации установлены государственные требования: к обороту, запрету или ограничению производства и оборота определенных товаров, прямое, функциональное назначение которых заключается в использовании энергетических ресурсов. Для обеспечения оборота товаров на территории РФ, они должны содержать информацию в технической документации к товару и маркировку на упаковке и этикетках о классе энергетической эффективности товара;

Класс энергетической эффективности товара определяется производителем, в соответствии с определенными требованиями, установленными соответствующими федеральными органами исполнительной власти.

Кроме того, установлены требования энергетической эффективности к зданиям, строениям и сооружениям. Требования энергетической эффективности распространяется не на все здания, строения, сооружения. Исключения составляют памятники истории и культуры, временные постройки, объекты индивидуального жилищного строительства, здания малой площади (менее 50 кв.м.) и прочие сооружения, определенные Правительством РФ.

Нормативно установлено, что энергетические ресурсы при производстве, передаче, потреблении, подлежат обязательному учету и контролю, с применением соответствующих приборов учета. К характеристикам всех приборов учета предъявляются определенные требования в соответствии с нормативно-технической документацией и законодательством Российской Федерации.

Расчеты за использованные энергетические ресурсы, могут осуществляться без учета данных приборов учета (при их отсутствии или негодности), по договору поставки энергетических ресурсов, договору купли-продажи, которые включают в себя условия энергосервисного договора (контракта).

Для определения существующего потенциала энергетической эффективности, получения объективных данных об используемых объемах энергетических ресурсов и возможном их сокращении, а также разработке типовых общедоступных мероприятий в сфере энергосбережения и увеличения показателей энергетической эффективности, могут проводиться энергетические обследования.

Энергетическое обследование проводится, по согласованию сторон в добровольном порядке. Согласно полученным результатам по окончании энергетического обследования, составляется энергетический паспорт. Информация необходимая к отражению в энергетическом паспорте: оснащенность приборами учета; объем используемых энергетических ресурсов в динамике; показатели энергетической эффективности; величина потерь, обусловленных передачей энергетических ресурсов; существующий потенциал энергосбережения; перечень типовых, общедоступных мероприятий в области энергосбережения и увеличения показателей энергоэффективности.

Для ряда организаций проведение энергетического обследования осуществляется в обязательном порядке.

Государство оказывает поддержку в сфере энергосбережения и увеличения показателей энергетической эффективности, осуществляя инвестиционную деятельность, в разработке и внедрении на объектах, новых технологий, имеющих высокий класс энергетической эффективности, пропагандируя необходимость заключения энергосервисных договоров (контрактов).

Государственная политика включает в себя: осуществление контроля по соблюдению требований законодательства в сфере энергосбережения и увеличения показателей энергетической эффективности организациями, независимо от их организационно-правовой формы, в частности: их руководителями, должностными лицами, а также физическими лицами.

Анализ практики применения законодательства об энергосбережении и о увеличении показателей энергетической эффективности позволяет выявить ряд характерных нарушений, особенно в сфере ЖКХ. В данной отрасли нарушения присутствуют во всех субъектах РФ.

Нарушение закона при использовании денежных средств допускаются на всех ступенях их использования, в том числе размещение заказов на государственные и муниципальные нужды, приемка и оплата строительных и прочих работ, при осуществлении надзора, за целевым использованием денежных средств.

В значительной части субъектах РФ наличествует кредиторская задолженность предприятий перед ресурсоснабжающими организациями.

Управляющие компании зачастую нарушают процедуру оплаты за обслуживание и ремонт общего имущества, жилых и нежилых помещений в многоквартирных домах, самоуправно устанавливают дополнительные платежи различного вида, необоснованно и нецелесообразно используют денежные средства, собранные с населения на свои нужды.

Органы местного самоуправления принимают решения об утверждении нормативов потребления коммунальных услуг и установления тарифов вне своей компетенции.

Множество нарушений выявляется при проведении работ по капитальному ремонту многоквартирных домов с вовлечением денежных средств Фонда содействия реформирования ЖКХ. Это обусловлено завышением фактически выполненных объемов работ, завышением стоимости материалов, включение в сметы необоснованных расходов, проведением строительных работ низкого качества и т.д.

Многие субъекты РФ уклоняются от принятия программ в сфере энергосбережения и увеличения показателей энергетической эффективности. Также наблюдается несоответствие принятых программ требованиям законодательства, или утверждение их с превышением полномочий.

Анализируя вышеизложенное, напрашивается вывод, одно из условий должного выполнения законодательства в сфере энергосбережения является осуществление тотального качественного государственного и муниципального контроля на всех этапах реализации программ, уполномоченными органами, это если избрать простой вариант и малообещающий. Однако такой контроль маловероятен, тем более за тем великим множеством: организаций, предприятий и прочих структур, где в большей части делается все огульно, нарочито небрежно, в форме отписки.

Необходимы жесточайшие меры: штрафы, административные, уголовные наказания, за нецелевое и необоснованное использование денежных средств, лояльность и преступная небрежность в работе, а также при исполнении должностных полномочий.

Более сложный и длительный путь – это введение институтов в сфере энергосбережения и увеличения показателей энергетической эффективности. Эффективным будет введение в общеобразовательный курс начальных школ, данного направления, где будут закладываться азы, нравственности и морали энергосбережения и увеличения показателей энергетической эффективности – как аксиомы нашего будущего существования.

#### Список использованных источников

1 Энергетическая стратегия России на период до 2030 года // Собрание законодательства РФ, 30.11.2009, № 48, ст. 5836.

2 Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»// Собрание законодательства РФ, 30.11.2009, № 48, ст. 5711.

# РЕЗОНАНСНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР ДЛЯ ПРОЖИГАНИЯ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛЭП

Пышанов Р.С. – магистрант гр. 8-Э-52, Мусин А.Х. – д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В данной статье объектом исследования являются кабельные линии (КЛ) 6-10 кВ в городских системах электроснабжения. Силовые кабельные линии имеют множество известных достоинств, но у них есть один большой недостаток, а именно большое время выявления места повреждения и дальнейшей ликвидации. Поэтому после нахождения места повреждения КЛ среднее время устранения составляет от нескольких часов до 2-3 суток. Вследствие чего при выходе в аварийный режим КЛ в большинстве случаев происходит недоотпуск электроэнергии потребителям.

Для обеспечения надежности и экономичности электроснабжения КЛ, которые были выведены из строя аварийно, должны быть введены в работу в самые кратчайшие сроки. В технологии ремонта силовых кабельных линий самый затратный по времени процесс – это определение места повреждения. Длительность ремонта зависит от многих факторов, при которых произошло повреждение. Как показала практика, для того, чтобы найти место повреждения, необходимо на месте пробоя обеспечить переходное сопротивление, которое было снижено до десятков, единиц или даже долей Ома. Это достигается процессом прожигания изоляции силовых КЛ, которое проводится за счет энергии, выделяющейся в месте повреждения.

В предназначенных для прожигания устройствах такие факторы как стоимость, габариты и масса являются определяющими для всего комплекса аппаратуры, которая используется в процессе поиска дефекта. Основной составляющей труда и затрат времени является процесс прожигания дефектной изоляции, поэтому знание и применение наиболее совершенных методик и аппаратуры дает высокий технико-экономический эффект.

При резонансном способе прожигания емкостное сопротивление кабеля компенсируется внешним индуктивным сопротивлением, что позволяет значительно снизить мощность источника, а при последовательном включении индуктивности – значение питающего напряжения.

Так как все известные установки для прожигания изоляции кабельной линии очень дорогостоящие, нами было принято решение попробовать создать установку, в основе которой лежит прожигание на переменном токе резонансным методом, что позволит уменьшить стоимость аппаратуры за счет исключения выпрямительных установок.

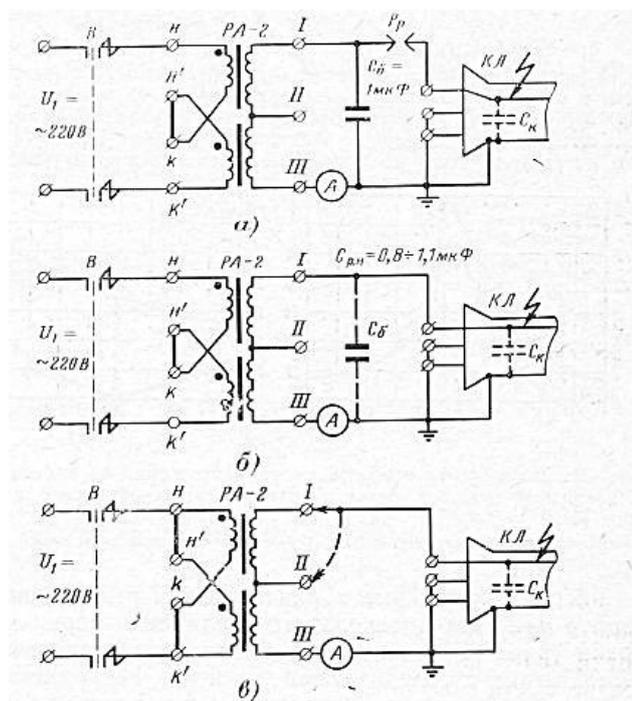
Нами проведены расчеты резонансного трансформатора, где в качестве исходных данных принято выходное напряжения  $U_{2рез}=20$  кВ и сечение сердечника  $Q_c = 60$  см<sup>2</sup>. В результате расчетов определили число витков первичной обмотки  $w_1 = 540$  витков, вторичной -  $w_2 = 7600$  витков. При расчетной емкости кабеля  $C_n = 1,4$  мкФ значения токов в первичной и вторичной обмотках составит, соответственно, 8,8 А и 76 А. Получили следующие данные:

$$U_{2рез} = 20 \text{ кВ}; Q_c = 60 \text{ см}^2, w_2 = 7600 \text{ витков}, q_2 = 0,79 \text{ мм}^2; C_n = 1,4 \text{ мкФ}; I_{2рез} = 8,8 \text{ А}, \delta_1 = \delta_2 = 11 \text{ А/мм}^2, w_1 = 540 \text{ витков}, I_{1рез} = 76 \text{ А}, q_1 = 7,0 \text{ мм}^2$$

Для удобства эксплуатации первичную обмотку выполняем из двух секций по 270 витков, которые можно подключить как параллельно, так и последовательно (рисунок 1).

## Список использованных источников

1. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов, М., Энергия, 1988.



а, б — последовательное включение; в — параллельное включение  
 Рисунок 1 - Принципиальные электрические схемы включения резонансного трансформатора при различном включении секции первичной обмотки

## КЛАССИФИКАЦИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Шадрин В.В. - студент группы Э-33, Куликова Л.В. - д.т.н., профессор  
 Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Потери электроэнергии в электрических сетях - важнейший показатель эффективной и экономичной работы электрических сетей, наглядный пример состояния системы учета электроэнергии, эффективности сбыта электроэнергии, а так же показатель деятельности энергоснабжающих организаций.

Этот пример все отчетливее свидетельствует о накапливающихся проблемах, которые требуют как можно быстрого принятия каких-либо решений в развитии, реконструкции и техническом перевооружении электрических сетей, совершенствовании методов и средств их эксплуатации и управления, в повышении точности учета электроэнергии, эффективности сбора денежных средств за поставленную потребителям электроэнергию, а так же за коммерческий учет.

Становится все более наглядным, что резкое обострение проблемы снижения потерь электроэнергии в электрических сетях требует поиска новых путей их решения, новых подходов к выбору соответствующих мероприятий, а главное, к организации мероприятий по снижению потерь.

В связи с резким сокращением финансирования в области развития и технического перевооружения электрических сетей, в совершенствование систем управления их режимами, учета электроэнергии, возник ряд негативных последовательных тенденций, влияющих на уровень потерь в сетях в худшую сторону, таких как: устаревшее оборудование, физический и моральный износ средств учета электроэнергии (счетчиков и тд.), несоответствие установленного оборудования передаваемой мощности, а так же отсутствие обновления базовых знаний рабочего персонала.

Виды потерь электрической энергии:

а) Технологические потери включают в себя такие виды потерь электрической энергии как:

- Технические потери: потери, возникающие в элементах электрической сети в процессе передачи электроэнергии, вследствие происходящих в них физических процессов, необходимых для передачи электроэнергии. Состоят из потерь, которые меняются в зависимости от нагрузки электрической сети (нагрузочные), от состава включенного оборудования (условно-постоянные), от погодных условий.

- Нагрузочные потери в линиях электропередачи и силовых трансформаторах, в токоограничивающих реакторах, в ТТ, в заградителях ВЧ связи.

- Потери, не зависящие от нагрузки, а именно потери холостого хода и климатические потери

- Расход на собственные нужды предприятий: Потери, уходящие на поддержание работы основного оборудования, которое участвует в процессе выработки, а так же последующие работы с электроэнергией, а именно: преобразование и распределение. Так же часть энергии расходуется на нужды рабочего, обслуживающего персонала на предприятии.

- Потери электроэнергии, возникающие в связи с наличием погрешности при выполнении измерений, которая выражается как суммарный небаланс электроэнергии, зависящий от технических характеристик, режимов работы измерительных комплексов учета принятой и отпущенной электроэнергии.

б) Коммерческие потери:

Основной причиной сложившейся ситуации является рост коммерческих потерь, которые можно разбить на четыре основные группы:

-потери из-за погрешностей системы учета электроэнергии, обусловленные;

- потери при выставлении счетов;

- потери при востребовании оплаты, обусловленные оплатой позже установленной даты, долговременными или безнадежными долгами и неоплаченными счетами;

- потери из-за хищений электроэнергии, обусловленные несанкционированным подключением потребителей, нарушением целостности цепей и приборов учета, искажением показаний и т.п.

Мероприятия по снижению потерь электроэнергии

а) Организационные мероприятия:

- Совершенствование нормативно-правовой базы

- Создание специальных комиссий, отвечающих за контроль по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях

- Утверждение программ по снижению потерь, назначение ответственных лиц, сроки выполнения.

-Своевременное обучение, пополнение базы знаний персонала(повышение квалификации)

- Стимулирование рабочего персонала

- Создание систем мониторинга по потерям и систем, ответственных за их снижение.

б) По снижению технологических потерь:

- Оптимизация схем и рабочих режимов работы электросети

- Трансформаторы, работающие с сезонной нагрузкой следует отключить

- Компенсация реактивной мощности

- Замена проводов, оборудования

- Выравнивание нагрузок в сетях

- Замена недогруженных, перегруженных трансформаторов на более подходящие для оптимальной работы.

в) Нетехнические мероприятия (коммерческие):

-Оснащение персонала оборудованием, помогающим отслеживать безучетное потребление электроэнергии

- Ликвидация безучетного потребления

- Выявление бездоговорного потребления

- Модернизация или замена оборудования по учету электроэнергии

- Применение СИП
- Организация выносного учета
- Внедрение АИИС КУЭ

Последствия потерь:

Потери электроэнергии напрямую связаны с дополнительным расходом топлива на тепловых электростанциях, являющихся замыкающим видом затрат электростанций в энергосистеме, и следовательно, непосредственно влияют на экономические показатели функционирования энергосистем, снижение качества электроэнергии, финансовые потери, снижение надежности, повышение риска аварийных ситуаций, неблагоприятно сказывается на работе и сроке эксплуатации оборудования.

Вывод:

В настоящий момент необходимо продолжать работы в направлении улучшения системы электроснабжения. Снижение потерь электроэнергии в электрических сетях – комплексная государственная организационно-техническая проблема, требующая совершенствования нормативно-правовой базы по учету электроэнергии, взаимодействию сетевых и сбытовых организаций. Приоритетным путем снижения технических потерь электроэнергии являются оптимизация режимов и модернизация электрических сетей, замена устаревшего оборудования и сетей на новые. Стратегическое направление снижения коммерческих потерь электроэнергии – совершенствование систем учета и законодательной базы, ужесточение штрафов за несанкционированное потребление электроэнергии, внедрение АСКУЭ на границах балансовой принадлежности, в первую очередь в линиях с большими потерями.

#### Список использованных источников

1. Технологические и коммерческие потери в сетях – одна из главных проблем энерго-снабжающих организаций и РЭК. Форум «Регулируемый и конкурентный рынок электроэнергии» это подтвердил / Ю. Железко // Новости ЭлектроТехники. — 2003. — №3. — С. 15.
2. Потери электроэнергии в электрических сетях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://uchetelectro.ru/poteri>.
3. Приказ министерства энергетики РФ от 30 декабря 2008г. № 326 «Об организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям» (с изменениями и дополнениями).
4. Фролов, Ю. М. Основы электроснабжения [Электронный ресурс] : Учеб. пособие / Ю. М. Фролов, В. П. Шелякин. – СПб.: Изд-во «Лань», 2012. – 480 с. : ил. – Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=45442](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=45442).

## СИСТЕМА ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЬНЫХ ЛЭП ПОД РАБОЧИМ НАПРЯЖЕНИЕМ

Спицин Д. А. – магистрант гр. 8-Э-52, Мусин А. Х. - д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Надёжное и безаварийное электроснабжение потребителей зависит от надёжной работы питающих электрических сетей. Основная причина отказов и аварий – износ питающих кабельных линий. Оптимальный способ предотвращения аварий и отказов – диагностика состояния изоляции.

Питающие кабельные линии один из самых распространённых видов электроустановок, эксплуатируемых в сложных условиях. Кабельная изоляция подвергается воздействиям разрушающих факторов среды (влажность и подвижения грунта, колебания температуры, пр.), блуждающих токов (городской электротранспорт), а также ненормальных режимов работы (перегрузки, токи утечки, сложные коммутационные процессы, несимметричные и

несинусоидальные режимы, нелинейность нагрузки). Эти факторы способствуют преждевременному физическому износу и разрушению изоляции.

Для повышения эффективности технического обслуживания систем электроснабжения следует переходить на автоматизированное обслуживание и контроль по реальным потребностям электрооборудования. Необходимость текущего обслуживания или ремонта должна определяться из реального состояния объекта. Диагностика должна проводиться под рабочим напряжением, без вывода электроустановки из работы, а обслуживание – только в случае возникновения реальной потребности. Потребность выявляется с помощью непрерывной диагностики состояния систем электроснабжения под рабочим напряжением.

Идея непрерывной диагностики заключается в наложении на контролируруемую электрическую сеть специальных зондирующих сигналов от источника, подключаемого между нейтральной точкой электрической сети и землёй. О состоянии изоляции судим по величине тока утечки, протекающего через контролируемый объект (в нашем случае это кабельные линии 6(10) кВ).

В данной статье в качестве информационного параметра, характеризующего состояние изоляции, рассмотрим сопротивление изоляции. Для чего необходимо разработать датчик сопротивления изоляции. Пример действия предлагаемого датчика показан на рисунке 1. В качестве рабочего органа датчика предполагается использовать геркон КЭМ-2.

Принцип действия датчика основан на взаимодействии встречных магнитных потоков катушек  $L_1$  и  $L_2$ , и геркона  $S$  (в соответствии рисунку 1). Входными сигналами датчика являются напряжение, накладываемое на сеть от источника зондирующих сигналов, вторым сигналом является ток утечки, подаваемый на датчик от трансформатора тока нулевой последовательности. Оба сигнала выпрямляются диодными мостами  $VDS_1$  и  $VDS_2$  и подаются на катушки  $L_1$ ,  $L_2$  геркона  $S$ .

В результате проведённого экспериментального исследования была выявлена высокая чувствительность датчика. Изменение соотношения числа витков обмоток  $L_1$  и  $L_2$  позволяет изменить величину сопротивления срабатывания  $Z_{ср}$ , то есть подобрать требуемое значение под конкретную кабельную линию.

#### Список использованных источников

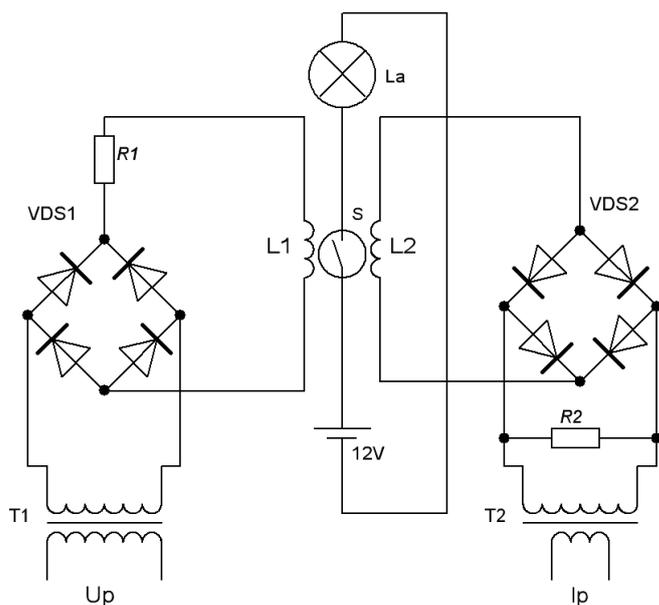


Рисунок 1 – Датчик контроль сопротивления изоляции

1. Мусин А. Х. Система электроснабжения городов: Технология ресурсосберегающего обслуживания по реальной потребности: автореф. дис. на соиск. учен. степ. д-ра техн. наук "Электрические станции (электрическая часть), сети, электроэнергетические системы и управление ими" / Мусин Агзам Хамитович; [Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова]. – Барнаул, 2000. – 37 с. : ил.

2. Чернобровов Н. В., Релейная защита энергетических систем [Текст]: учебное пособие

для техникумов / Н. В. Чернобровов, В. А. Семенов. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 800 с.: ил.

## ОБНАРУЖЕНИЕ МЕСТ ОДНОФАЗНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ С ПОЛИМЕРНЫМИ ИЗОЛЯТОРАМИ НАПРЯЖЕНИЕМ 110 КВ

Суслов А.В. - студент гр. 8-Э-62, Нефёдов С.Ф. - к.т.н.

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

В настоящее время в энергетических системах существует тенденция модернизации находящегося в эксплуатации оборудования с целью повышения надежности электроснабжения предприятий народного хозяйства. Одно из немаловажных мест в этом занимают средства дистанционного определения мест повреждений линий электроснабжения, что обеспечивает сокращение времени поиска и времени на проведение работ по восстановлению поврежденного участка сети.

Существующие методы определения мест повреждений, в частности однофазных коротких замыканий на землю, предполагают обнаружение участка, длина которого варьируется от длины контролируемого участка сети, с дальнейшим визуальным осмотром и поиском поврежденных опор линии.

Эксплуатация различных типов изоляторов имеет свои преимущества и недостатки.

В рамках рассматриваемой проблемы, применение стеклянных изоляторов облегчает поиск поврежденных изоляторов, потому что любое повреждение закаленного стекла приводит к разрушению изолирующей тарелки, которое легко обнаруживается при осмотре линии.

При пробое фарфорового и полимерного изоляторов происходят изменения в его структуре, которые заметны только при близком рассмотрении. Поэтому существует проблема поиска поврежденного изолятора на линии.

Проблему обнаружения повреждений на линиях разделяют на 2 этапа:

– Определение участка, на котором зафиксировано повреждение (дистанционные методы).

– Поиск опоры, на которой произошло замыкание (топографические методы).

Первый этап включает в себя параметрические методы определения аварийного участка с помощью фиксирующих приборов и импульсные методы, заключающиеся в применении стоячих волн и т.п. Эти методы различны на линиях разного класса напряжения, типа нейтрали и рода короткого замыкания. [1]

Второй этап включает в себя использование различных приборов, используемых на местности, или применение специальных указателей. Для линий напряжением 110 кВ применение приборов недопустимо, потому как при устойчивом коротком замыкании линия отключается автоматикой, а при неустойчивом коротком замыкании их применение так же нерационально.

Поэтому для линий с напряжением 110 кВ наиболее перспективным и точным методом является метод использующий специальные указатели, которые по назначению можно условно разделить на две группы.

Первая группа включает в себя устройства, которые указывают поврежденное направление на ответвленных линиях, такие как УПН, УПН-1, УПН-2 и УПН-3. Они характеризуются сложностью конструкции и предназначаются только для определения направления поиска аварийного участка линии.

Вторая группа устройств предназначается для определения локального местонахождения короткого замыкания. Она включает в себя приборы УПИ-1, УПГ, ИКЗ-3.

Принцип действия прибора УПИ-1 основан на размагничивании предварительно намагниченного воспринимающего элемента магнитным полем переменного тока КЗ, протекающего по опоре ВЛ 110 кВ и выше. Они являются однократными и требуют

восстановления работоспособного состояния после каждого случая срабатывания. При их применении возникают большие сложности при поиске неустойчивого КЗ.

Прибор УПГ (указатель поврежденной гирлянды) предназначается для визуального определения места перекрытия гирлянды изоляторов при устойчивых и неустойчивых коротких замыканиях на линиях 110 кВ и выше.

Указатель содержит реагирующий элемент, выполненный из стальной проволоки, муфту для скрепления концов реагирующего элемента и три сигнальных флажка. Указатель устанавливается на шапке верхнего изолятора гирлянды.

Сигнальные флажки обеспечивают возможность визуальной регистрации наличия индикатора на гирлянде с земли и с вертолета на расстоянии до 50 - 70 м.

При перекрытии гирлянды электрической дугой, реагирующий элемент указателя частично сгорает. При этом благодаря пружинящим свойствам, реагирующий элемент распрямляется и указатель падает на землю. Муфта указателя позволяет производить установку и снятие его без разборки гирлянды. Реагирующий элемент выполняется из оцинкованной проволоки, что гарантирует продолжительный срок службы до 6 - 10 лет.

При использовании для реагирующего элемента проволоки диаметром 1,5 мм указатель реагирует на ток дугового перекрытия гирлянды 1 кА и выше при длительности протекания тока 0,1 с и более. [2]

Наиболее современный метод обнаружения повреждений обеспечивается использованием приборов ИКЗ-3. Они устанавливаются непосредственно на провода контролируемой линии. Такое техническое решение позволяет добиться высокой точности измерений и обеспечить корректную работу на многоцепных линиях. При этом монтаж приборов на линию остаётся максимально простым.

Данные приборы обладают беспрецедентной чувствительностью к низким токам аварийного процесса, фиксируя однофазные замыкания на землю с емкостным током от 0,5А.

При обнаружении повреждения на сработавшем комплекте включается световая индикация, позволяющая работникам дежурных оперативно-выездных бригад определить, в каком направлении от сработавшего комплекта им следует двигаться, и какой тип аварии был зафиксирован. Так же прибор передаёт информацию об аварии с помощью радиоканала ближней связи, либо через SCADA-систему посредством GSM-канала. [3]

К минусам данного метода можно отнести дороговизну, применение дополнительного сложного оборудования.

Нами предлагаются альтернативные варианты решения поставленной задачи. Основными условиями решения мы использовали дешевизну и максимальную простоту эксплуатации.

Первым вариантом является применение специального термочувствительного покрытия, которое предполагается использовать на части полимерного изолятора. Данное покрытие должно характеризоваться высокой чувствительностью к температуре короткого замыкания, за время которого должно произойти изменение цвета покрытия. Изменение цвета должно быть устойчивым и в должной мере контрастировать с исходным цветом. Это даст хороший эффект при наблюдении с дальних расстояний. А также его применение не должно влиять на диэлектрические свойства изолятора.

Вторым вариантом предлагается использование модернизированной конструкции изоляторов с применением индукционных колец, в которых, при возникновении короткого замыкания, индукционный ток расплавит кольцо, что обеспечит видимость повреждения на воздушной линии.

#### Список использованных источников

1. Аржанников Е. А. Методы и приборы определения места короткого замыкания на линиях [Текст] / Е. А. Аржанников, А. М. Чухин: учеб. пособие. – Иванов : Изд-во Ив. гос. энерг. ун-та, 1998. – 74 с. УДК 621.315.1.

2. Кузнецов А. П. Определение мест повреждения на воздушных линиях электропередачи [Текст] / под ред. Я. Л. Арцишевского : – Москва : Энергоатомиздат, 1989. – 94 с. ISBN 5-283-01015-5.

3. Индикаторы КЗ ИКЗ-3 [Электронный ресурс] // Streamer.ru: ОАО «НПО «Стример», 2010–2017. URL: [http://www.streamer.ru/streamer\\_products/fault-indicators/ikz-3](http://www.streamer.ru/streamer_products/fault-indicators/ikz-3) (дата обращения: 07.04.2017)

## СПОСОБЫ ВЫРАВНИВАНИЯ НАГРУЗОК ФАЗ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 0,4 КВ

Усольцев П.Е. – студент гр. 8-Э-52, Куликова Л.В. – д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

На сегодняшний день все актуальной остается задача равномерного распределения нагрузок фаз в электрических сетях. Таким образом, одной из проблем многих частных владений, общественных заведений и производственных мощностей является перекос фаз, который приводит к увеличению расходов на электроэнергию, нарушению надежности работы электрооборудования, в каких-то случаях даже к электротравматизму.

Существуют разные виды перекоса в электросети. В зависимости от типа проблемы, выбирается наиболее оптимальный способ ее решения. Остановимся на наиболее распространенной и, в то же время, самой простой ситуации – перекос фаз, вызванный неравномерным распределением внутрисетевой нагрузки.

Большинство сетей являются трехфазными. Если в них нагрузка распределена неравномерно, вследствие чего одна или две фазы перегружены, а третья (или же две) недогружена, происходит перекос. В идеальном состоянии фазное напряжение (напряжение между каждой из трех фаз и нулевым рабочим проводником) составляет 220 В. Пример векторной диаграммы явления, при котором на каждой из фаз возникает несимметрия напряжений и токов показан на рисунке 1.

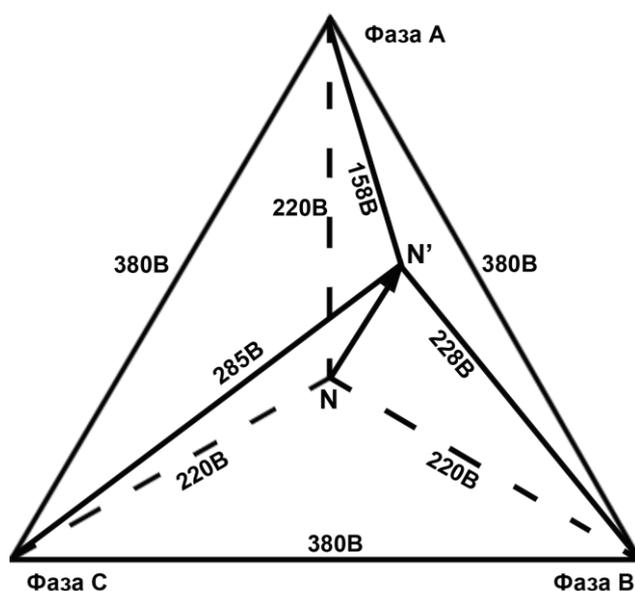


Рисунок 1 – Векторная диаграмма изображения

перекоса фаз

Несомненно, лучшим способом предотвращения несимметрии напряжения является планирование равномерного распределения предполагаемой нагрузки по фазам сети еще на стадии проектирования электроустановки.

Для устранения возникшей несимметрии напряжения в ходе эксплуатации электрической сети производят замеры токов по фазам и перераспределением нагрузок

(переключение с более загруженных на менее нагруженные фазы) добиваются равных токов потребления.

В быту для обеспечения допустимого напряжения питания отдельных приборов или их группы нередко используют однофазные стабилизаторы напряжения, в трехфазных сетях - соответственно, трехфазные устройства.

Однако, следует учитывать, что выравнивание значения фазного напряжения до допустимого с использованием трехфазного стабилизатора неизбежно сопровождается отклонением от нормы на других фазах.

Таким образом, можно говорить об эффективности его использования для предотвращения отклонения напряжения на одной (контролируемой) фазе, но его отклонение от нормы на других может стать вторичной причиной возникновения несимметрии напряжении.

Для решения задачи по устранению перекоса фазных напряжений и обеспечения заданного фазного напряжения необходимо использовать технологию, которая позволит выравнивать напряжение не на каждой из фаз по отдельности, а симметрировать фазы между собой, то есть симметрировать всю трехфазную систему. К такому устройству относится симметрирующий трансформатор, он обладает значительно большей эффективностью и не только сам потребляет меньше электроэнергии, но и снижает электропотребление из сети для электроприемников.

Рассмотрим случаи подключения нагрузки без использования симметрирующего трансформатора и с его применением.

В первом случае (рисунок 2) подключение нагрузки выполнено напрямую к сети. Максимальная нагрузка на одну фазу составляет треть от трехфазной мощности источника электроэнергии.

Подключение мощного однофазного электроприемника вызывает перекося фаз и повышает риск его повреждений и повреждений других электроприемников. Если мощность такого фазного потребителя превышает треть трехфазной мощности, это вызывает его неправильную работу (сбой, отключение, отказ).

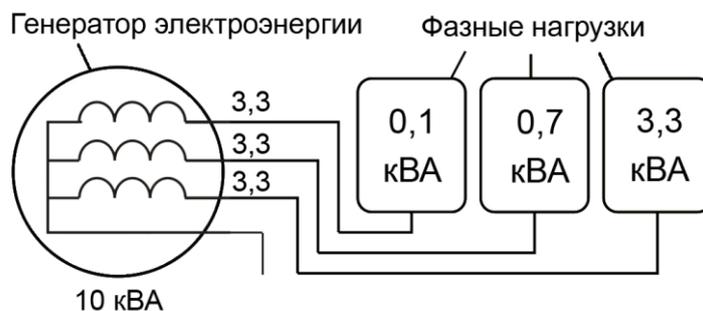


Рисунок 2 - Подключение нагрузки напрямую к сети.

Во втором случае (рисунок 3) подключение более мощной нагрузки к тому же источнику электроэнергии с использованием симметрирующего трансформатора.

Максимальная нагрузка на одну фазу может составлять 50% от трехфазной мощности

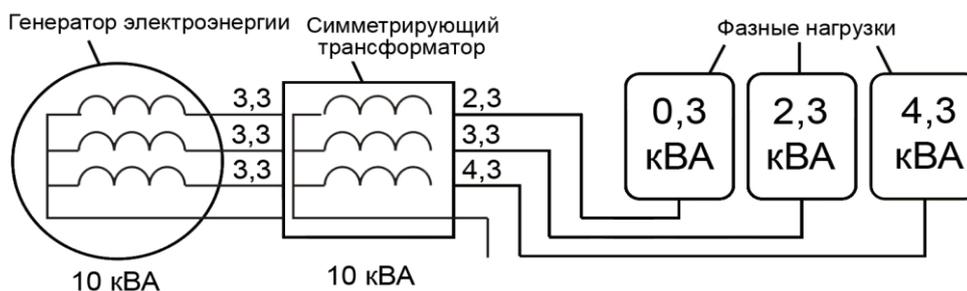


Рисунок 3 - Подключение нагрузки с использованием симметрирующего трансформатора

источника электроэнергии. Источник электроэнергии воспринимает нагрузку как равномерно распределенную по фазам.

В третьем случае (рисунок 4) подключение той же нагрузки к генератору меньшей мощности с использованием симметрирующего трансформатора.

Представленная технология позволяет подключать ту же группу электроприемников к генератору электроэнергии меньшей мощности, при этом источник электроэнергии будет воспринимать нагрузку как равномерно распределенную по фазам.

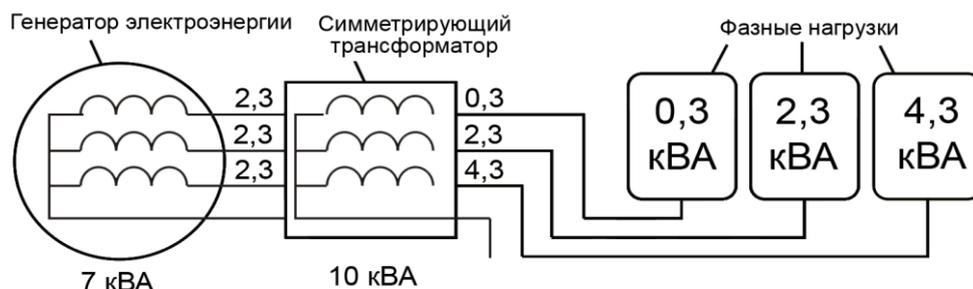


Рисунок 4 - Подключение нагрузки с использованием симметрирующего трансформатора к генератору меньшей мощности

Массовое внедрение такой технологии позволит более рационально использовать электроэнергию, снизить ее потери; обеспечивать тех же потребителей (группы электроприемников) меньшим количеством электроэнергии; снизить затраты на электроэнергию, затраты на топливо, масло, охлаждающую жидкость при питании от генератора; продлить срок службы электроприемников, уменьшить их износ, обеспечить безотказную работу электроприемников; снизить расходы на источники электроэнергии, так как для той же группы электроприемников возможно использование генератора меньшей мощности; защитить от электротравматизма, возгорания электропроводки или электроприемников, вызванных износом изоляции вследствие перекоса фаз.

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

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

Устюгов Д.В. – студент, Барсуков Д.В. – студент

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

В настоящее время используется больше количество электронных приборов, формирующих опасное электромагнитное излучение (ЭМИ) в различных диапазонах частот. Электромагнитные волны постоянно окружают нас в повседневной жизни. По результатам многочисленных исследований в области электромагнитного излучения и их влияния на живые организмы были выявлены негативные воздействия данного излучения на нервную, иммунную, эндокринную и половую системы [1].

В настоящее время существует множество направлений в области обеспечения электромагнитной безопасности. Однако, одним из наиболее распространенных является создание устройств защитного экранирования (УЗЭ). При разработке нового защитного устройства по обеспечению электромагнитной безопасности одним из важных этапов является оценка перспективности существующих аналогов, выявление их достоинств и недостатков.

Известно средство защиты от электромагнитных излучений, а именно, защитный экран, содержащий корпус и пластину из защитного материала. Его корпус выполнен в виде

соединенных между собой вертикальной и горизонтальной пластин, между которыми расположен экранирующий элемент, являющийся проводником, выполненный в виде металлической сотовой решетки. При этом экранирующий элемент обработан композиционным материалом, состоящим из полимерной основы [2].

Основным недостатком данного устройства является низкая эффективность экранирования уровней электромагнитных излучений в широком диапазоне частот вследствие обеспечения экранирования электромагнитных полей только в радиочастотном диапазоне до 10 ГГц.

Как показывает анализ, одним из наиболее перспективных является устройство для снижения опасности электромагнитных излучений, содержащее расположенные слоями четыре проводника, каждый из которых выполнен в виде металлической пластины, три слоя диэлектрика, в качестве которого может быть использован пьезоэлектрик, например, пьезокерамика, и клеящий слой. При этом толщина каждой металлической пластины, с первой по третью, не превышает величину глубины проникновения в данный металл электромагнитной волны контролируемой частоты. Отличительной особенностью данного устройства является то, что основания первой и третьей металлических пластин соединены электрически [3].

Среди основных недостатков данного изделия можно выделить следующие: повышенная трудоемкость изготовления вследствие сложности его конструкции и низкая эффективность экранирования уровней электромагнитных излучений в широком диапазоне частот, в том числе одновременно на уровне промышленной частоты и в радиочастотном диапазоне.

Выявленные недостатки возможно устранить путем упрощения конструктивных особенностей устройства при одновременном снижении уровней электромагнитного излучения в широком диапазоне частот, в том числе, электрических, магнитных полей промышленной частоты и радиочастотного диапазона, а также электромагнитного поля высоких и сверхвысоких частот.

Низкой трудоемкости изготовления устройства возможно добиться в результате сокращения количества функциональных элементов и клеящих слоев с одновременным выходом на уровень наноструктурных образований. А повышение электромагнитной безопасности в широком диапазоне частот возможно за счет использования разнородных защитных материалов (таблица 1).

В результате предлагаемых решений уменьшится не только поперечная толщина и массогабаритные характеристики устройства, но и стоимость изготовления данного изделия. А это позволит повысить надежность работы электронных и электротехнических средств, обеспечить эффективную защиту биологических объектов.

Таблица 1 – Коэффициент экранирования полей высоких частот металлическими листами и сетками [4]

Вид экрана	Материал экрана	Частота				
		10 кГц	100 кГц	1 МГц	10 МГц	1 ГГц
Металлические листы толщиной 0,5 мм	Сталь	$2,5 \times 10^6$	$5 \times 10^8$	$10^{12}$	$10^{12}$	$10^{12}$
	Медь	$5 \times 10^6$	$10^7$	$6 \times 10^8$	$10^{12}$	$10^{12}$
	Алюминий	$3 \times 10^6$	$4 \times 10^6$	$10^{12}$	$10^{12}$	$10^{12}$
Металлические сетки	Медь, проволока 0,1 мм ячейки 1×1 мм	$3,5 \times 10^6$	$3,5 \times 10^5$	$10^5$	$1,5 \times 10^4$	$1,5 \times 10^3$
	Медь, проволока 1 мм ячейки 10×10 мм	$10^6$	$10^5$	$1,5 \times 10^4$	$1,5 \times 10^3$	$1,5 \times 10^2$
Металлические	Сталь, проволока 0,1	$6 \times 10^4$	$5 \times 10^4$	$1,5 \times 10^4$	$4 \times 10^3$	$9 \times 10^2$

сетки	мм ячейки 1×1 мм					
	Сталь, проволока 1 мм ячейки 10×10 мм	$2 \times 10^5$	$5 \times 10^4$	$2 \times 10^4$	$1,5 \times 10^3$	$1,5 \times 10^2$

#### Использованные литературные источники

1. Электромагнитная безопасность: взгляд в будущее [Электронный ресурс] – Электрон. текстовые дан. – Электромагнитная безопасность: взгляд в будущее, 2008. – Режим доступа : [http://www.beztrud.narod.ru/statya/emb\\_bud.html](http://www.beztrud.narod.ru/statya/emb_bud.html), свободный. – Загл. с экрана.
2. Патент RU 2439722, МПК G12B17/02, H05K9/00, B82B1/00(2006.01).
3. Патент RU 2168879, МПК<sup>7</sup> H 05 K 9/00, G12B17/02, H01Q1700.
4. Постановление 848-70. Санитарные нормы и правила при работе с источниками электромагнитных полей высоких, ультравысоких и сверхвысоких частот.

#### К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ ПО ЭКРАНИРОВАНИЮ ЭМИ

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

Кобаков А.С. – студент, Львов П.С. – студент

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

В результате научно - технического прогресса в настоящее время резко обострилась электромагнитная обстановка (ЭМО). В результате многочисленных исследований было выявлено негативное влияние электромагнитного излучения (ЭМИ) на биологические объекты, в том числе на организм человека [1].

Одним из способов защиты от электромагнитного поля является защитное экранирование источников ЭМИ на рабочих местах. При выборе экранирующих материалов одним из важных моментов является оценка эффективности защитного экранирования от электромагнитных излучений.

В настоящее время существует множество агрегатов, позволяющих проводить оценку эффективности экранирования. При этом наиболее эффективные из них относятся к товарам высокой ценовой категории [2-4].

При исследовании данной проблемы в Алтайском государственном техническом университете им. И. И. Ползунова (АлтГТУ) осуществляется анализ устройств для оценки эффективности защитного экранирования.

Известно устройство для измерения величины реального затухания электромагнитного поля и оценки эффективности экранирования, содержащее генератор синусоидальных высокочастотных сигналов в радиочастотном диапазоне выше 30 кГц и генератор сложного сигнала, усилитель мощности, излучающую антенну, приемную антенну, измерительный приемник, модулятор, устройство оптимальной обработки сложного сигнала и персональную электронно-вычислительную машину (ПЭВМ). Особенностью данного устройства является то, что вход модулятора соединен с выходом генератора синусоидальных сигналов, управляющий вход которого соединен со вторым управляющим выходом ПЭВМ [2].

Одним из недостатков данного агрегата следует признать сложность используемой аппаратуры, исследование частот ограниченного диапазона в результате формирования генератором только высокочастотных сигналов в радиочастотном диапазоне выше 30 кГц и высокую стоимость.

Как показывает анализ, одним из перспективных является устройство контроля защиты от электромагнитного поля, предназначенное для измерения степени защиты технических и биологических объектов от электромагнитного поля и содержащее источник электропитания, генератор, усилитель, блок индикации, датчик, выполненный в виде двух незамкнутых спиралеобразных кривых в форме эвольвенты, и соединенный с источником электропитания стабилизатор [3].

Среди основных недостатков данного изделия можно выделить следующие: отсутствие возможности вывода результатов измерений на портативный персональный компьютер и исследования уровня электромагнитных излучений на отдельно контролируемых частотах, пониженная точность и чувствительность измерений, обусловленные использованием в качестве блока индикации стрелочного или цифрового прибора, обладающего инструментальной погрешностью.

Выявленные недостатки возможно устранить путем взаимного использования устройства с ПЭВМ, имеющей программное обеспечение для организации автоматизированного процесса измерения и обработки данных.

Использование недорогостоящей аппаратуры позволит существенно снизить ценовую категорию устройства, а совместное использование с ПЭВМ значительно расширит функциональные возможности проводимых исследований.

В результате предлагаемых решений устройство обеспечит увеличение количества исследований в области оценки эффективности экранирования ЭМИ, повышение точности измерений и позволит обоснованно выбирать защитные экранирующие материалы с учетом снижения стоимости выполненных работ.

#### Использованные литературные источники

1. Электромагнитная безопасность: взгляд в будущее [Электронный ресурс] – Электрон. текстовые дан. – Электромагнитная безопасность: взгляд в будущее, 2008. – Режим доступа : [http://www.beztrud.narod.ru/statya/emb\\_bud.html](http://www.beztrud.narod.ru/statya/emb_bud.html), свободный. – Загл. с экрана.
2. Патент RU 136183, G 01R 29/00, 2006.01.
3. Патент RU 2254584, G 01R 29/08, 2005.06.
4. Львов П.С., Кобаков А.С. Анализ и перспективы технологий по оценке эффективности защитного экранирования от ЭМИ // Наука и образование в современном мире [Электронный ресурс] / Editura «Liceul», Научно-издательский центр «Мир науки». – Электрон. текст. данн. (2,31 Мб.). – Кишинев: Editura «Liceul», 2016.