

3. Постановление правительства РФ № 530 от 29.09.2006 «О введении в действие правил функционирования розничных рынков электроэнергии».
4. NR Labs [Электронный ресурс] : сайт компании NR-Labs. – Электрон. дан. – URL: <http://www.nr-labs.ru/compensation.html>.



УДК 621.365:621

Н.И. Черкасова

СПОСОБ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОПРОВОДОК ЗДАНИЙ

Предлагается способ диагностики электропроводки зданий, основанный на декомпозиции функций и конструкций и переходе от элементов конструкций и элементарных функций к интегральным оценкам.

Исследование данного способа диагностики позволит эксплуатирующим службам установить очередь ремонтов, что позволит снизить случаи возгорания электропроводок зданий.

Ключевые слова: электропроводка, диагностика, декомпозиция, агрегирование, функциональное состояние.

N.I. Cherkasova

DIAGNOSTICS METHOD OF ELECTRIC WIRING IN BUILDINGS

The diagnostics method of the electric wiring in buildings, based on the functions and structures decomposition, and the transition from structural elements and elementary function to integral assessments, is brought forward in the article.

This diagnostics method research will permit the maintenance services to form repair (renovation) queue that will help reduce the cases of electric wiring combustion in buildings.

Key words: electrical wiring, diagnostics, decomposition, aggregation, functional condition.

В настоящее время плохое состояние электропроводок в административных и коммунально-бытовых зданиях является частой причиной возгораний с причинением большого материального ущерба и гибелью людей.

Ежегодно в России регистрируется 200 тысяч пожаров, 20–40 % из которых вызваны действием электрического тока и существующим состоянием электроустановок. Гибнут тысячи людей, сотни тысяч строений, десятки сотен единиц автотракторной техники. Ежедневные материальные потери составляют в среднем 124 млн руб. Особенно неблагоприятное положение с пожарами сложилось в малых городах и сельской местности, на которые приходится 2/3 гибели людей и 70 % материальных ущербов [1]. Основной причиной пожаров, вызванных действием электрического тока (до 70 %), являются короткие замыкания и развивающиеся токи утечки через изоляцию электропроводок, при этом электропроводки являются наиболее пожароопасным видом электротехнических изделий, на долю которых приходится до 45 % пожаров.

В свете вышеизложенного, становится необходимым и актуальным создание приемлемых способов диагностики электропроводок зданий.

Автор предлагает способ диагностики электропроводки зданий, основанный на функционально-конструкционной декомпозиции и агрегировании состояния элементов электрической проводки.

В статье использован метод оценки состояния оборудования высоковольтных электрических сетей, предложенный учеными Новосибирского государственного технического университета [2]. Данный метод базируется на декомпозиции функций и конструкций технического устройства, вводе единой шкалы уровней состояний и переходе от элементов конструкций и элементарных функций к интегральным оценкам.

Электропроводку (ЭП) как техническое устройство (ТУ) можно представить следующими конструктивными узлами (рис. 1): ввод в здание, автомат вводной (АВ), электросчетчик, трансформаторы тока, автоматы групповые (АГ), распределительные коробки (КР), проводка до распредкоробок (участок 1), проводка до розеток (участок 2), светильников (участок 3), проводка до электроплиты (участок 4).

В рамках экспертного подхода можно оценить функциональное состояние отдельных элементов электропроводки, затем ее узлов и перейти к интегральной оценке функционального состояния электропроводки в целом.

Оценка функционального состояния элементов предлагается по линейной шкале оценки состояния ТУ. Эксперт достаточно точно может определить пять уровней состояния оборудования, поэтому шкала бу-

дет содержать 5 уровней состояния, соответствующих экспертным возможностям человека, с выделением функционально-идеального (1,0), функционально-хорошего (0,75), функционально-среднего (0,5), функционально-предельного (0,25) и уровня функционального отказа (0).

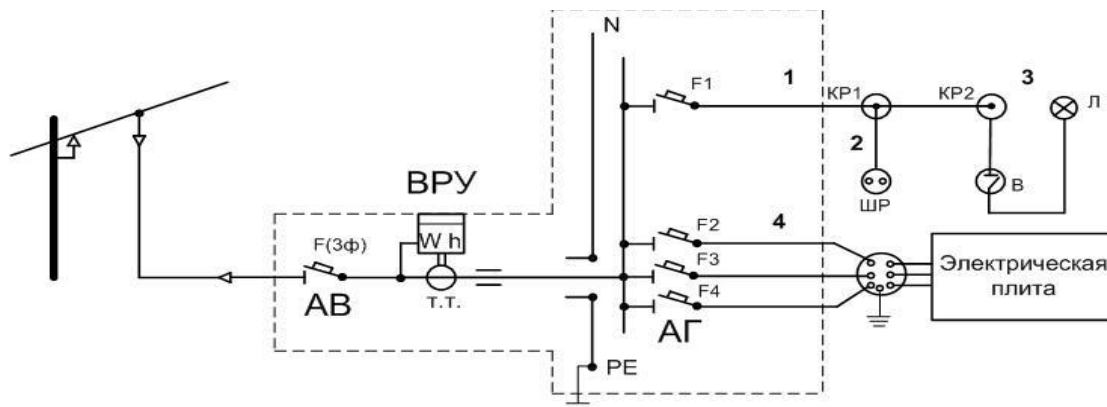


Рис. 1. Организация элементов электрической проводки

Определение состояния базируется на матрице связей конструкции ТУ и его функций. Средствами экспертного структурного анализа определяются цепочки элементов, от которых зависит работоспособность каждой из функций.

Отказ главной или основной функции должен соответствовать и отказу всего ТУ, а отказ дополнительных функций лишь понизит уровень его состояния, не приводя к отказу ТУ.

На этой основе для всех функций задаются весовые коэффициенты значимости. Состояние ТУ определяется на основе средневзвешенной величины.

Электропроводку (ЭП) как техническое устройство, предназначенное для передачи электрической энергии и питания бытовых электропотребителей, можно определить следующими основными и дополнительными функциями:

- обеспечение надежности электроснабжения;
- обеспечение электробезопасности;
- защита электрооборудования;
- учет электроэнергии (дополнительная функция).

Декомпозиция конструкции для отражения связи конструкции с функциями и влияния состояния элементов на состояние узлов представлена в таблице 1.

Таблица 1

Декомпозиция конструкции электропроводки

| Конструкционный узел | Элемент |
|--|---|
| Устройство ввода в здание (воздушный ввод) | Токоведущие жилы |
| Автомат вводной | Контакты фазы А Контакты фазы В Контакты фазы С |
| Учет электроэнергии | Электросчетчик Трансформатор тока |
| Автоматы групповые | Контакты F1, F2, F3, F4, |
| Коробки распределительные (КР1, КР2) | Корпус Соединение |
| Электропроводка от автомата до КР (участок 1) | Изоляция |
| Электропроводка от КР до розетки (участок 2) | Изоляция Контакты розетки |
| Электропроводка от КР до светильника (участок 3) | Изоляция Выключатель |
| Электропроводка от автомата до плиты (участок 4) | Изоляция |

Используя представленную декомпозицию, составляют матрицу функционально-конструкционных связей ЭП (табл. 2).

Таблица 2

Функционально-конструкционные связи ЭП

Участки ЭП *

| Функция ЭП | Узел (агрегированный элемент) | | | | | | | | | |
|------------|-------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Но-мер | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | + | + | - | + | + | + | + | + | + | + |
| 2 | - | + | - | + | + | - | - | - | - | - |
| 3 | - | + | - | + | - | - | - | - | - | - |
| 4 | - | - | + | - | - | - | - | - | - | - |

* Основания для выделения участков электропроводки:

- ✓ тип прокладки (наружная, внутренняя);
- ✓ характеристика помещения;
- ✓ класс изоляции.

Для всех элементов и узлов конструкции ЭП и ее функций введем единую шкалу уровней состояний (табл. 3).

Таблица 3

| Качественный уровень состояния | Значение |
|----------------------------------|----------|
| Идеальное | 1,00 |
| Функционально-хорошее | 0,75 |
| Функционально-среднее | 0,50 |
| Функционально-предельное | 0,25 |
| Состояние функционального отказа | 0 |

На самом нижнем уровне для идентификации состояния элементов необходимо установить однозначное соответствие между первичными (выявляемыми в результате обследования) дефектами и приведенными выше классами состояний.



Оценка состояния конструктивных узлов ЭП (см. табл. 2) производится в предположении их цепочечной (последовательной) структуры по отношению к функциональному отказу.

Состояние конструкций узлов соответственно определяется следующим образом:

$$C_j = \sqrt[n]{\prod_i C_{ji}}$$

где C_j – состояние i -го элемента j -го конструктивного узла;
 n – число элементов конструктивного узла.

Оценка состояния каждой функции (i -го функционального состояния) для выделенного участка может быть сделана с учетом функционально-конструкционных связей (табл. 2) следующим образом:

$$C_{f_i}^K = \sqrt[m]{\prod_j C_{l_j}},$$

где $C_{f_i}^K$ – состояние i -й функции K -го участка ЭП;

C_{l_j} – состояние j -го агрегированного элемента (C_{l_j}) участка ЭП, имеющего ненулевое значение (+) в матрице функционально-конструкционных связей для i -й функции;
 m – число ненулевых значений в матрице для i -й функции.

Интегральное функциональное состояние всей ЭП определяется через функциональное состояние отдельных участков с учетом их весовых коэффициентов.

$$C_f^{\text{ЭП}} = \frac{\sum_i a_i C_f^{K_i}}{\sum_i a_i},$$

где a_i – весовой коэффициент (значимость) i -го участка ЭП;

C_f^i – интегральное функциональное состояние i -го участка ЭП.

Приведем пример диагностики электропроводки жилого здания.

Перечень замечаний и дефектов, выявленных при обследовании электрической проводки жилого здания:

1. Подгорели контакты вводного автомата фазы А и фазы В.
2. Электропроводка скрытая, выполнена проводом АППВ с одинарной изоляцией. Имеется значительная утечка по изоляции в нормальном режиме.
3. Подгорание присоединительных клемм групповых автоматов из-за плохого контакта.
4. Коэффициенты трансформаторов тока не соответствуют нагрузке.
5. Подгорание контактов розетки ШР и выключателя В1 с заниженным номинальным током, так как выключатель и розетка установлены на номинальный ток 10 и 16 А соответственно, а требуется установка выключателя и розетки на 16 и 20 А соответственно.

На основании мнения эксперта о функциональном состоянии элементов последовательно идентифицируем состояние функциональных узлов электропроводки.

1. Функциональное состояние устройства ввода в здание хорошее, замечаний нет. Этот узел можно идентифицировать как функционально-хороший (0,75).

2. Функциональное состояние трехфазного вводного автоматического выключателя (АВ):
 фаза А – состояние функционально-предельное – 0,25;
 фаза В – состояние функционально-среднее – 0,5;
 фаза С – функционально-хорошее – 0,75.

3. Функциональное состояние учета – 0,5.

4. Функциональное состояние групповых автоматов F1 – 0,25; F2 – 0,75; F3 – 0,5; F4 – 0,5.

5. Функциональное состояние узла – распределительная коробка – определится из функциональных состояний ее элементов: корпус – 0,75, соединения – 0,75. Функциональное состояние узлов КР1 и КР2 одинаково и определяется ($\sqrt[2]{0,75 \cdot 0,75} = 0,75$) как функционально-хорошее.

6. Функциональное состояние электропроводки до распределительных коробок (участок 1) – функционально-среднее – 0,5.

7. Функциональное состояние ЭП до розетки (участок 2): изоляция – 0,5; контакты розетки – 0,25; ($\sqrt[2]{0,5 \cdot 0,25} = 0,354$).

8. Функциональное состояние электропроводки до светильника состоит из двух частей. Изоляция – 0,5; выключатель – 0,25; ($\sqrt[2]{0,5 \cdot 0,25} = 0,354$).

9. Функциональное состояние участка 4 – до электроплиты – 0,5.

Функциональное состояние автомата вводного (АВ) определится из формулы

$$C_f^{AB} = \sqrt[3]{0,25 \cdot 0,5 \cdot 0,75} = 0,454.$$

Функциональное состояние групповых автоматов (АГ), питающих электроплиту, будет иметь вид

$$C_f^{AG} = \sqrt[4]{0,75 \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot 0,5} = 0,552.$$

Заполним таблицу структурных взаимосвязей:

| Функция ЭП | Узел (агрегированный элемент) | | | | | | | | | |
|------------|-------------------------------|-------|------|-------|------|------|-------|-------|------|---|
| | Номер | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 0,75 | 0,454 | - | 0,552 | 0,75 | 0,50 | 0,354 | 0,354 | 0,50 | |
| 2 | - | 0,454 | - | 0,552 | 0,75 | - | - | - | - | |
| 3 | - | 0,454 | - | 0,552 | - | - | - | - | - | |
| 4 | - | - | 0,50 | - | - | - | - | - | - | |

Введем весовые коэффициенты значимости функций (a_i):

| Номер функции | Весовой коэффициент |
|---------------|---------------------|
| 1 | 0,4 |
| 2 | 0,35 |
| 3 | 0,25 |
| 4 | 0 |

$$\Sigma = 1,0$$

Определим состояние ЭП.

$$C_f^{\text{ЭП}} = \frac{\sum a_i C_f^{(i)}}{\sum a_i} \text{ через состояние функций } C_f^{(i)} = \sqrt[l_i]{\prod C_{ij}},$$

где l_i – число ненулевых элементов в i -й строке функции таблицы;

C_{ij} – состояние j -го функционального элемента i -й строки.

$$C_f^1 = \sqrt[8]{0,75 \cdot 0,454 \cdot 0,552 \cdot 0,75 \cdot 0,5 \cdot 0,354 \cdot 0,354 \cdot 0,5} = 0,508;$$

$$C_f^2 = \sqrt[3]{0,454 \cdot 0,552 \cdot 0,75} = 0,573; \quad C_f^3 = \sqrt[2]{0,454 \cdot 0,552} = 0,501; \quad C_f^4 = 0,5;$$

$$C_f^{\text{ЭП}} = 0,4 \cdot 0,585 + 0,35 \cdot 0,58 + 0,25 \cdot 0,51 + 0 \cdot 0,5 = 0,529.$$

Анализ экспертных мнений показал, что предельные величины функционального состояния, при которых еще возможна эксплуатация электрических проводок зданий, составляют не менее 0,3.

Выводы

1. Расчет функционального состояния электропроводки после каждого ее обследования позволит осуществить мониторинг этого состояния.
2. Данный способ диагностики позволит эксплуатирующим службам установить очередность ремонтов (график ППР) с учетом интегрального показателя функционального состояния электропроводки, что сделает возможным снижение случаев возгорания по причине повреждения проводки.
3. Предельная величина функционального состояния, при которой возможна эксплуатация электропроводок, составляет не менее 0,3 ($C_f^{\text{ЭП}} \geq 0,3$).

Литература

1. Государственная программа «Безопасность образовательного учреждения» на 2004–2006 год // Ползуновский альманах. – 2004. – № 1.
2. Эксплуатация высоковольтных электрических сетей. Модели оценки состояния оборудования и оптимизации ремонтно-восстановительных процессов / *А.Г. Фишов* [и др.]. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000.
3. *Черкасова Н.И.* Оценка функционального состояния ЛЭП 110 кВ ЮВ151 «Южная-Волчиха»: мат-лы V Всерос. науч.-техн. конф. – Рубцовск: РИО, 2003. – 459 с.

