

няться только при единственном условии, что она будет работать в одном звене с другими структурами альтернативной энергетики (солнечная на базе фотоэлектрических элементов и зеркал-гелеостатов, водородная энергетика, ветроэнергетика) и подструктурами биоэнергетики (биоэнергетика на основе лигноцеллюлозы, пищевой промышленности и так далее). Полная и наиболее эффективная работа энергетики Красноярского края будет заключаться в совместной работе альтернативной и традиционной энергетики до момента развития и укрепления структур альтернативной энергетики.

**Заключение.** Одной из наиболее перспективных структур биоэнергетики в Красноярском крае является биоэнергетика на основе использования отходов ЛПК и древесного сырья в связи с наличием достаточного количества ресурсов (сырья) и его относительно быстрой возобновляемостью. Выделенные негативные и положительные аспекты развития структуры альтернативной энергетики позволяют судить о преобладающей необходимости введения биоэнергетики как в структуру промышленного сектора (при одновременном использовании традиционной (на основе ископаемого топлива) (до момента окончательного внедрения структур альтернативной энергетики) и альтернативной энергетики (на основе использования ветроэнергетики, солнечной энергетики, энергии малых и микроГЭС)), так и в гражданский сектор. Биоэнергетика на основе использования отходов ЛПК и древесного сырья не может являться самодостаточной структурой энергетики. Ее эффективность может быть обусловлена только совокупностью её с другими отраслями альтернативной энергетики.

### Литература

1. <http://www.teplopellet.com>. – 2013. – 6 апр.
2. Татьяна Зыкова. Лесной прорыв // Рос. газ. – 2006. – 4 июля.
3. Биоэнергетика для регионов // <http://www.cleandex.ru>. – 2007. – 22 нояб.
4. Андрей Мармышев. Жизнь после нефти // Рос. газ. – 2007. – 21 нояб.



УДК 621.31

О.К. Никольский, Г.А. Гончаренко

### КОНЦЕПЦИЯ ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭЛЕКТРОПРОВОДКИ И АЛГОРИТМ ЕГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ

*В статье рассматривается проблема оценки и прогнозирования остаточного ресурса электропроводки при эксплуатации на сельскохозяйственных объектах. Авторы предлагают решения для увеличения срока службы электропроводки, а также сохранения ее технического состояния, удовлетворяющего требованиям надежности и безопасности.*

**Ключевые слова:** электропроводка, остаточный ресурс, анализ, прогнозирование, математическая модель.

O.K. Nikolskiy, G.A. Goncharenko

### THE ASSESSMENT CONCEPT OF ELECTRIC WIRING RESIDUAL RESOURCE AND ITS DEFINITION ALGORITHM

*The issue of the assessment and forecasting of the electrical wiring residual resource in the operation on the agricultural objects is considered in the article. The authors propose solutions for increasing the electrical wiring service life, and also its technical condition preservation meeting the reliability and safety requirements.*

**Key words:** electrical wiring, residual resource, analysis, forecasting, mathematical model.

---

Развитие электрооборудования села, специфические условия эксплуатации и обслуживания электропотребителей выдвигают серьезную проблему обеспечения непрерывно возрастающих требований производства и инфраструктуры села к надежности и безопасности эксплуатации средств электрификации и автома-

тизации. Нарушение надежности функционирования электрохозяйства аграрного сектора экономики приводит к значительным материальным потерям, обусловленным многочисленными авариями электрооборудования, гибелью людей и животных, пожарам, вызванных электротехническими причинами, а также ухудшению экологической обстановки.

Доминирующим фактором угрозы техногенной опасности следует считать критический износ электропроводок и коммутационного оборудования. В настоящее время техническое состояние электроустановок (в т.ч. электропроводки) на селе не удовлетворяет современным требованиям надежности и безопасности (более чем в 50 % всех зданий электропроводка выработала свой нормативный срок службы и подлежит полной замене).

Наличие таких фактов требует решения проблемы по обеспечению нормативного уровня техногенной безопасности электропроводки в сельской местности. В этой связи приобретают актуальность методы прогнозирования остаточного ресурса электроустановок зданий, развитие средств контроля и диагностики их технического состояния.

В соответствии с [1] под остаточным ресурсом понимается наработка объекта от момента контроля его технического состояния до перехода в предельное или неработоспособное. Применительно к электропроводке остаточный ресурс можно интерпретировать как определенное её техническое состояние с заданной вероятностью на предстоящий интервал времени (1 год), в течение которого сохраняется работоспособность электроустановки.

В качестве базовой концепции рассмотрим подход, в основе которого лежит принцип «безопасности» [2], согласно которому диагностика технического состояния электропроводки может осуществляться по показателям (или параметрам), обеспечивающим его надежность и безопасность в соответствии с действующими нормативами. В этом случае остаточный ресурс электропроводки можно оценивать некоторой совокупностью диагностических параметров и показателей. Будем считать, что диагностический параметр поддается количественной оценке путем его измерения, а диагностический показатель – только качественной оценке из-за невозможности его измерения.

Электропроводка здания может иметь остаточный ресурс не только до истечения расчетного срока службы, но и после него. Действующие нормы и методы расчета срока службы электропроводки предусматривают обеспечение надежности и безотказности, износостойкости при наиболее неблагоприятных условиях внешней среды (повышенной влажности, колебаний температуры и др.), электрического и теплового старения изоляции, механического воздействия, т.е. тех факторов, которые приводят к преждевременной деградации и выходу из строя токопроводящих и изолирующих частей проводки. Значения перечисленных факторов в действительности при соблюдении правил эксплуатации электроустановок могут оказаться менее критичными, чем расчетные значения, что снижает интенсивность расходования заложенных запасов по электрической, тепловой и механической прочности, износостойкости и другого, обеспечивая тем самым резерв по остаточному ресурсу электропроводки.

Существуют два подхода к оценке и прогнозированию остаточного ресурса [3]. Первый подход (детерминистический) используется при сроке эксплуатации менее нормативного и незначительный поврежденности объекта и позволяет получить достаточно точные оценки показателей надежности при заданной функции  $f(t)$ . Суть прогноза в этом случае сводится к тому, что через определенные периоды эксплуатации электропроводки  $t_1, t_2, \dots$  измеряются максимальные величины повреждений (в общем виде представленных совокупностью диагностических параметров  $\varphi_1, \varphi_2, \dots$ ), затем эти зависимости экстраполируются до предельно допустимой величины повреждений  $\varphi_{кр}$ . Вид зависимости  $f(t)$  может быть получен эмпирически и при ряде допущений может рассматриваться линейным вида  $f(t) = \varphi_0 + a \times t$ , где  $\varphi_0$  и  $a$  – постоянные величины при заданных условиях.

Второй подход используется, если же срок эксплуатации электропроводки близок к нормативному или имеются значительные повреждения изоляции или токоведущих элементов. В этом случае требуется определенная диагностика технического состояния, позволяющая получить более точный прогноз, направленный на выявление дополнительного резерва ресурса электропроводки. Для прогнозирования ресурса может быть применен статистический метод, основанный на вероятностных оценках [4]. Таким образом, оценка и прогнозирование остаточного ресурса электропроводки может быть проведена на основании анализа её технического состояния.

Одним из источников получения данных для прогнозирования остаточного ресурса является ретроспективная информация. Для определения показателей надежности (наработки на отказ) требуется проведение специальных испытаний – ресурсных или функциональных. Результаты этих испытаний являются основным источником информации для прогнозирования надежности. Ресурсные испытания электрических проводов в условиях их производства, как правило, не проводятся. Поэтому прогнозирование надежности может основываться на изучении физических процессов разрушения изоляции и проводников изделия путем проведения функциональных испытаний моделей и образцов. Менее трудоемким путем является статистический (а не физический) подход, в основе которого лежит сбор ретроспективной информации о надежности эксплуатируемой электропроводки в действующих электроустановках.

Основными показателями надежности электротехнических изделий является наработка на отказ  $T_0$ , вероятность безотказной работы  $Q_0(t)$  и параметр потока отказов  $\lambda(t)$ :

$$\begin{cases} T_0 = \int_0^{\infty} t f(t) dt, \\ Q_0(t) = \int_t^{\infty} f(x) dx. \end{cases} \quad (1)$$

Оценки показателей надежности электропроводки должны вычисляться, базируясь на совокупностях случайных выборок, полученных экспериментальным путем.

Будем считать, что в некоторый момент времени  $t_k$  в эксплуатации находится  $n(t_k)$  объектов (электропроводок). Тогда общая наработка их составит

$$T_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{n(t_k)} T_{ki}(t_k). \quad (2)$$

Сумма наработок на отказ по  $n(t_k)$  отказам будет равна

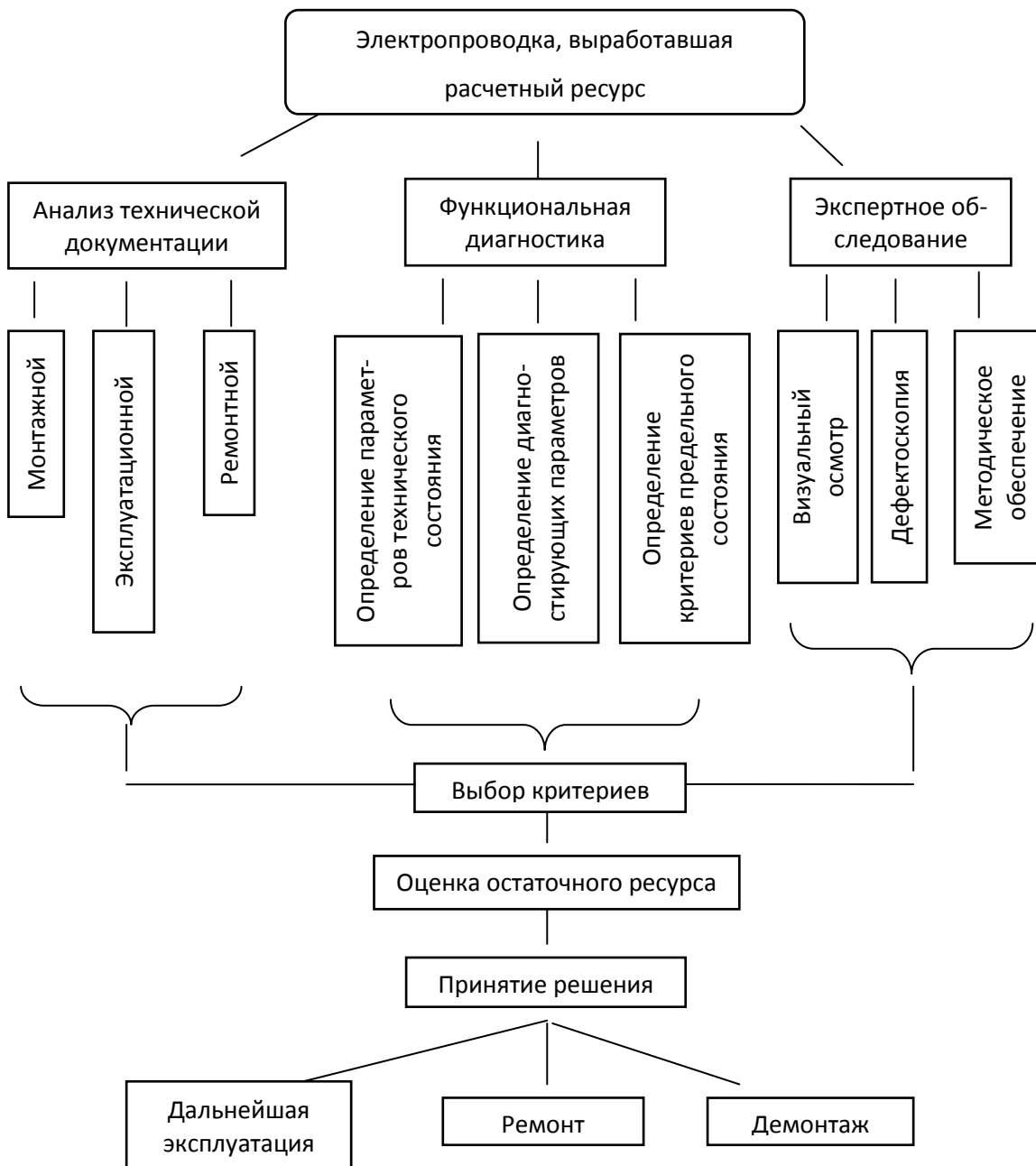
$$\sum T = \sum_{j=1}^{n(t_k)} T_j, \quad (3)$$

где  $n(t_k)$  – общее число отказов.

Статистическая оценка наработки на отказ (математическое ожидание) может быть вычислена как

$$T_0^*(t_k) = \frac{\sum T}{n(t_k)}. \quad (4)$$

Рассмотрим метод экспертной оценки, являющийся составной частью инженерного прогнозирования [5]. Этот метод обычно используется при недостатке ретроспективной информации. Применительно к решению задачи оценки ресурса будем рассматривать электропроводку как некоторую совокупность составных элементов (токопроводящих и изоляционных). Для каждого элемента эксперт может установить вероятные причины отказов. Причины отказов следует разделять на внезапные (разрушающие), например, пробой изоляции, разрыв электрической цепи; постепенные (износные) и функциональные (отклонение диагностических параметров). Для каждой причины указывается ожидаемая вероятность отказа, исходя, например, из четырех качественных оценок: полное отсутствие отказов (А), малая (Б), средняя (В) и (Г) высокая вероятность отказов. Обработка результатов опроса заключается в оценке числовых эквивалентов по каждому элементу и электропроводки в целом. В результате обработки статистических данных по надежности элементов электропроводки и числовых эквивалентов при экспертной оценке может быть получена эмпирическая зависимость, позволяющая оценивать остаточный ресурс изделия (рис.).



Структурная схема определения остаточного ресурса электропроводки

Представим ретроспективную статистическую информацию об отказах электропроводки в виде временных хронологических рядов. Примем следующую вычислительную процедуру. Весь период эксплуатации электропроводки, начиная от включения в действующую электроустановку ( $t=0$ ) до момента окончания наблюдения ( $t=t_n$ ), разделяется на  $K$  равных интервалов времени  $\Delta t = \text{const}$ . Каждому значению времени  $t_j = j\Delta t$  ( $j=1, 2, \dots, n$ ) соответствуют случайные значения показателя надежности  $y_j$ . В этом случае статистическая информация преобразуется в динамический ряд  $y(t_j)$ , для которого подбирается прогнозирующая модель. С определенной степенью допущения для исследуемого временного ряда можно построить линейную модель вида

$$y_l = \sum_{i=1}^l a_i y_{l-i} + \varepsilon_i, \quad (5)$$

где  $l$  – порядок регрессии;  $a_i$  – весовые коэффициенты;  $\varepsilon_i$  – совокупный коэффициент аппроксимации.

Аппроксимируя полученную модель, строится соответствующий тренд, экстраполируя который можно получить прогноз показателя надежности и оценить остаточный ресурс электропроводки.

Многочисленные данные [4] свидетельствуют о недопустимо низком уровне технического состояния электропроводок на объектах АПК.

Возникла проблемная ситуация, когда, с одной стороны, электропроводки в условиях эксплуатации испытывают воздействия разрушающих факторов и в ряде случаев выходят из строя, не выработав ресурса, установленного ГОСТом, а с другой – неизвестно, какой из рискообразующих факторов определяет износ и дефект, а следовательно, и срок службы электропроводки конкретного объекта. В этой связи представляется важным проведение экспериментальных исследований износа изоляционной и проводящей частей электропроводки при комплексном воздействии основных разрушающих факторов: влажности, температуры, электрического поля и агрессивной среды, получение на этой основе математических моделей старения и повреждения электропроводки объектов АПК.

### **Выводы**

1. Установлено, что существующие методы контроля технического состояния электропроводки зданий не позволяют объективно оценить ее остаточный ресурс, тем самым своевременно принимать решения, исключающие возникновение аварий, несчастных случаев и пожаров.

2. Предложенная в работе концепция прогнозирования остаточного ресурса позволяет разработать и реализовать принципы диагностики технического состояния электропроводки, что дает возможность продлить срок ее безопасной эксплуатации.

3. Реализация поставленной цели предполагает получение многопараметрической модели сроков службы электропроводки от комплекса воздействующих рискообразующих факторов, а также разработку методики, алгоритма и программы прогнозирования износа и остаточного ресурса электропроводки объектов.

### **Литература**

1. ГОСТ 27.002-89 «Надежность в технике. Основные понятия, термины и определения». – М.: Изд-во стандартов, 1990.
2. *Никольский О.К.* Основы создания оптимальных систем обеспечения электробезопасности: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М., 1979.
3. *Еремина Т.В., Никольский О.К., Семичевский П.И.* Контроль изоляции электроустановок до 1000 В // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век: мат-лы VIII междунар. науч.-практ. интернет-конф. – Орел, 2010.
4. *Еремина Т.В.* Вероятностный анализ безопасности сельских электроустановок. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2010.
5. *Болотин В.В.* К прогнозированию остаточного ресурса // Машиностроение. – 1980. – № 5. – С. 58–64.

