

МЕХАНИЗАЦИЯ И РЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АПК

---

УДК 658.382.3.631.1

**МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РИСКА БЕЗОПАСНОСТИ И ОЦЕНКИ  
ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ**

**Калинин А.Ф.**

*Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева*

**Ерёмина Т.В.**

*Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления*

В статье рассмотрены этапы анализа риска возникновения опасности в электроустановке. Предположено, что анализ риска необходимо рассматривать, как процедуру идентификации опасности и перейти к количественной оценке риска. Одной из основных задач анализа является получение информации о состоянии изоляции электроустановок для установления их остаточного ресурса и прогнозирования срока эксплуатации. Приведены этапы прогнозирования электротравматизма с описанием математической модели. Анализ изменения показателя уровня электробезопасности выявил достаточно низкую тенденцию к постепенному снижению количества электротравм.

**Ключевые слова:** электроустановка, риск, управление риском, авария, пожар, электротравма, ущерб, электропроводка, анализ, прогнозирование, электробезопасность.

**MODEL OF FORECASTING OF RISK OF SAFETY AND ASSESSMENT OF  
A RESIDUAL RESOURCE OF ELEMENTS OF ELECTROINSTALLATION**

**Kalinin A.F.**

*Orel State University named after I.S. Turgenev*

**Eryomina T.V.**

*East Siberian State University of Technology and Management*

In article analysis stages of risk of emergence of danger in electroinstallation are considered. It is assumed that the analysis of risk needs to be considered how and to pass the procedure of identification of danger to quantitative assessment of risk. One of the main objectives of the analysis is obtaining information on a condition of isolation of electroinstallations for establishment of their residual resource and forecasting of term of operation. Electrotraumatism prediction phases with the description of mathematical model are given. The analysis of change of an indicator of level of electrical safety has revealed rather low tendency to gradual decrease in quantity of electric traumas.

**Key words:** electroinstallation, risk, management of risk, accident, fire, electric trauma, damage, electrical wiring, analysis, forecasting, electrical safety.

---

В результате многолетней недооценки проблемы безопасности электроустановок в настоящее время действующая структура мероприятий по охране труда и технике безопасности не удовлетворяет современным требованиям надёжного функционирования электрооборудования и электроустановок.

Применение структуры управления риском безопасности электроустановок и анализа идентификации опасностей, связанных с возникновением аварий, травм,

пожаров, делает возможным получение данных, необходимых для оценки эффективности организационно-технических мер и прогнозирования уровня электробезопасности.

### **Объекты и методы исследования**

Процедуру анализа риска электробезопасности необходимо рассматривать в виде двух взаимосвязанных этапов:

- прогнозирование и сравнительная оценка риска;
- управление индивидуальным (или совокупным) риском.

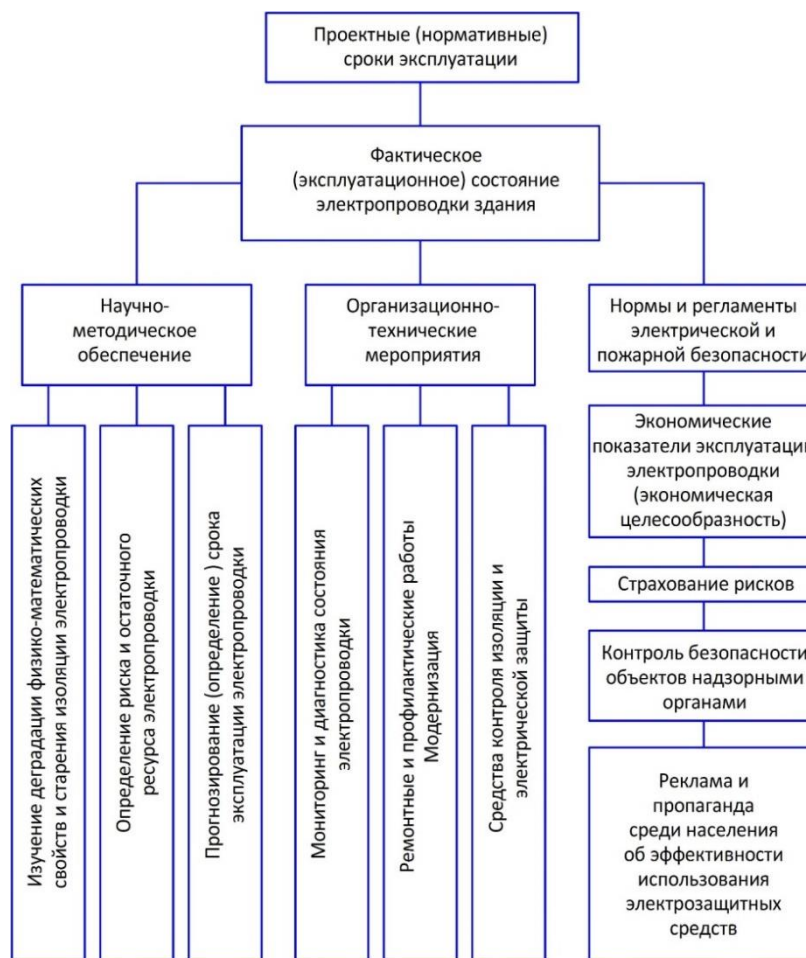
Назначением первого этапа является прогнозирование величины совокупного риска электротравматизма с учетом возможного ущерба от каждой отдельной травмы и сравнение величины риска с приемлемым значением. Назначение второго – разработка рекомендаций по снижению вероятности возникновения электротравм и возможного от них ущерба, направленных на достижение приемлемого риска при ограниченных экономических затратах.

Анализ риска представляет проведение процедуры идентификации опасностей и определение оценки риска применительно к человеку и окружающей среде. Одна из основных задач анализа состоит в получении объективной информации о состоянии изоляции электроустановки с целью установления остаточного ресурса и прогнозирования срока эксплуатации. Известно, что наиболее опасным элементом электроустановки является электропроводка. Ежегодно на объектах экономики страны выходит из строя до 20% электропроводок зданий и сооружений [1].

В основе решения указанной задачи лежат научно обоснованные принципы, разработка которых потребует реализации таких общих вопросов, как: обоснование срока службы электропроводки и совершенствование критериев оценки безопасности; сбор и исследование сведений о случаях повреждения, развития аварий, возникновения травм и пожаров, анализ основных их причин; изучение деградации физико-механических свойств твердой изоляции проводов и кабелей и механизма изменения их характеристик в условиях эксплуатации; расчетное прогнозирование долговечности электропроводки в производственных помещениях, а также жилых и общественных зданиях населенных пунктах; создание и внедрение в инженерную практику пакета вычислительных программ для вероятностных оценок возникновения дефектов в электропроводках, приводящих к опасным последствиям, и расчета потенциального ущерба от них.

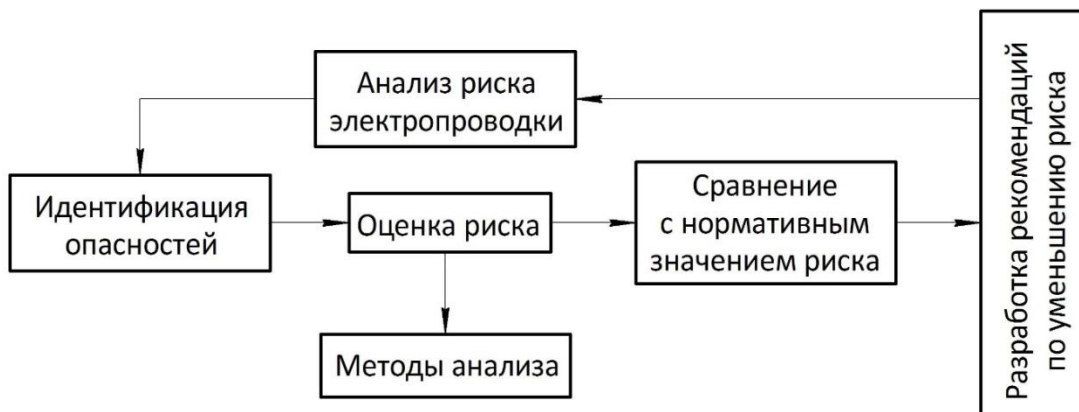
Перечисленное образует единый взаимосвязанный комплекс (рис. 1), в состав которого входят блоки научно-методического и нормативного обеспечения, выполнения организационно-технических мероприятий.

Важным фактором является решение задачи, связанной с определением оптимального срока службы эксплуатации электроустановки, ибо желание увеличить срок службы, с одной стороны, позволяет экономить материальные ресурсы, а с другой – повышает вероятность возникновения повреждений, аварий и т.д.



**Рисунок 1. Модель определения остаточного ресурса и сроки эксплуатации электропроводки**

Обоснование оптимального срока предполагает, во-первых, проведение диагностики технического состояния электропроводки путем оснащения объекта средствами автоматического контроля изоляции (устройствами защитного отключения), а во-вторых, определение количественной оценки риска, и сопоставление с нормативным значением. Последнее сводится к процедуре выполнения методических и практических мер по управлению риском (рис. 2). Отметим, что здесь следует отдавать предпочтение методам количественного анализа, сводящимся к расчету показателей риска путем умножения вероятности опасного события (аварии, травмы, пожара) на математическое ожидание ущерба (материальных потерь), вызванного этим событием.



**Рисунок 2. Блок схема управления риском**

В общем случае прогнозирующая система может включать математические, логические и эвристические элементы [2]. На вход системы поступает имеющаяся информация о прогнозируемом явлении электротравматизма; на выходе – выдаются данные о будущих параметрах явления, т.е. прогноз. Блок-схема прогнозирующей системы электротравматизма приведена на рис. 3.

В соответствии с рассматриваемой блок-схемой первым этапом при прогнозировании является сбор и анализ необходимой исходной информации о несчастных случаях. Здесь возможно получение статистических данных как путем использования ретроспективных сведений, так и с помощью автоматизированной системы сбора и анализа данных по электротравматизму. Причем, данные, поступаемые по двум каналам, не должны быть противоречивыми, а должны подтверждать достоверность полученной информации.

Второй этап прогнозирования состоит в создании математической модели травмоопасных ситуаций и их исходов (дерева событий и исходов), а также методического аппарата для определения неизвестных параметров модели. Необходимо отметить, что при создании моделей нужно исходить из целей и задач прогнозирования и учитывать так называемый интервал упреждения, в течение которого формируется банк статистических данных по электротравматизму.

Третьим этапом является проведение необходимых расчетов и визуализация их результатов.

На четвертом этапе выполняется оценка адекватности модели реальным явлениям и достоверности получаемых прогнозных ситуаций.

В настоящее время широко используются различные методы прогнозирования, в основе которых лежат математические и эвристические модели [3]. Математические модели, в свою очередь, можно подразделить на детерминированные и вероятностные. Первые основываются на установлении функциональных зависимостей между первичными критериями безопасности и параметрами человеко-машинной системы. Эти зависимости могут быть выражены в аналитической, графической или табличной формах. В вероятностных моделях учитывается стохастическая природа параметров, характеризующих источник электрической опасности, а также процессов формирования и исхода травмоопасных ситуаций.

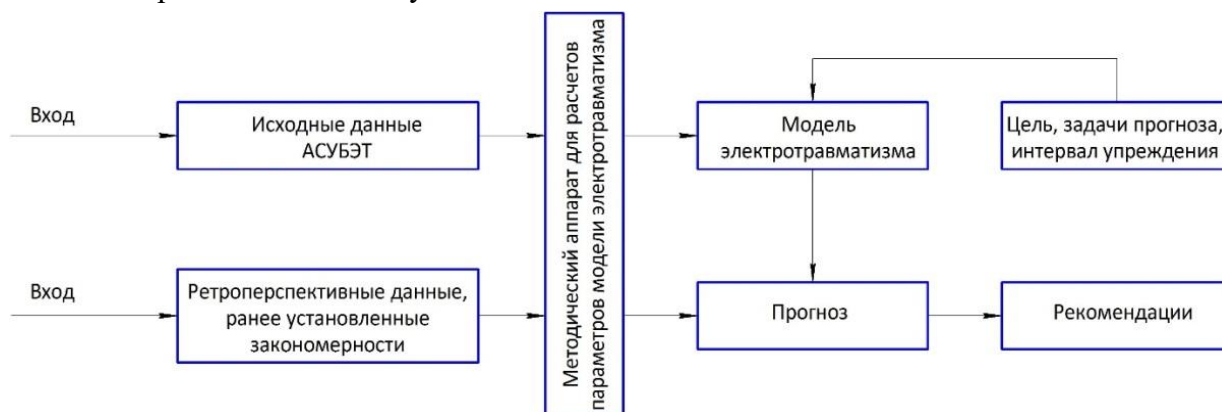


Рисунок 3. Блок-схема прогнозирования электротравматизма

### Результаты и их обсуждение

К разновидности вероятностных моделей прогнозирования травмоопасных ситуаций следует отнести метод экстраполяции, с помощью которого на основании статистических данных по электротравматизму осуществляется оценка интересующих нас показателей на определенный временной интервал. Этот метод может найти применение, например, при прогнозе электротравматизма с различными исходами. В качестве прогнозируемого параметра могут выступать как макропоказатели, например, интегральный риск электротравматизма региона или отрасли, включающий в себя социальный, материальный и экономический ущерб, выраженный в едином денежном эквиваленте, так и микропоказатели – дифференцированные характеристики, определяющие исходы электротравмы.

Наиболее объективным показателем, который может быть использован для статистической оценки уровня электробезопасности в какой-либо отрасли, на наш взгляд, является количество электротравм.

В качестве примера на рисунке 4 приведена динамика изменения показателя  $M(\text{ЭП})_i$  (математического ожидания количества электротравм) на промышленных предприятиях Байкальского района за период с 2005 по 2015 гг. [3]. «Сглаживание» статистической кривой изменения среднегодового количества несчастных случаев, проведенное методом наименьших квадратов, позволило установить характер регрессионной зависимости, которая имеет следующий вид:

$$M(\text{ЭП})_i = 1,5 + 1,8e^{-0,2i}, \quad (1)$$

где  $i = 1, 2 \dots n$  – время, в течение которого были получены статистические данные по электротравматизму.

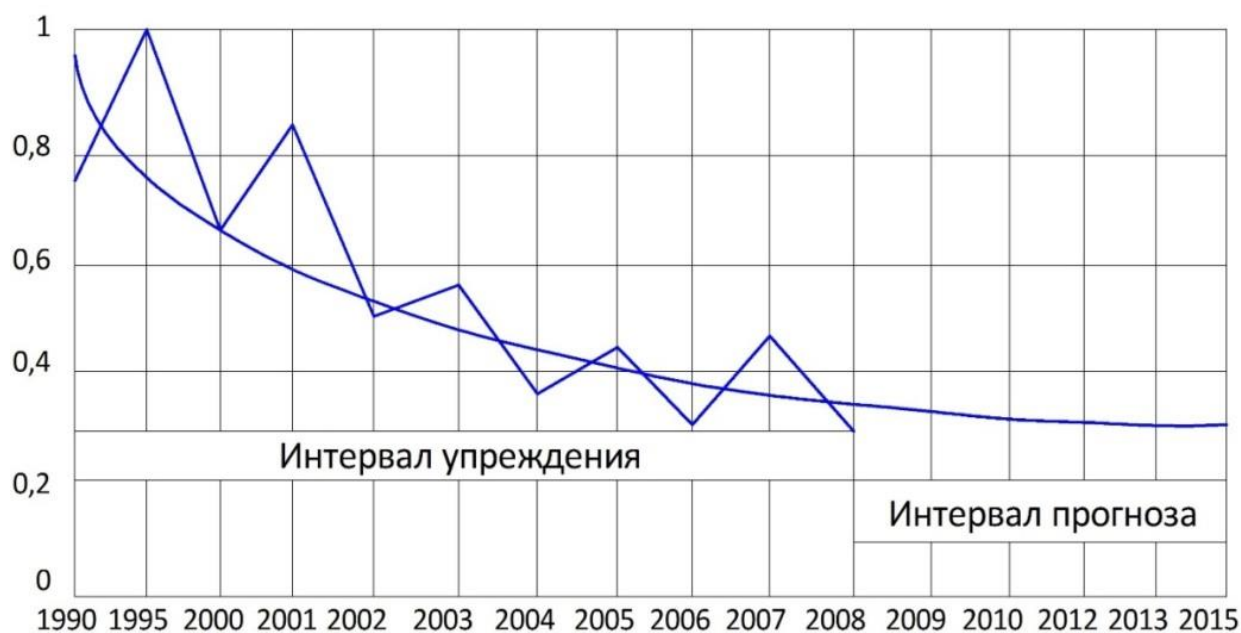
Как следует из графика, характерной чертой рассматриваемого периода времени явилась явно выраженная тенденция к постепенному снижению количества электротравм. Причиной здесь следует считать создание в России нормативной правовой базы в области охраны труда, а также начавшееся внедрение комплекса эффективных организационно-технических мероприятий, регламентирующих безопасную работу в электроустановках до 1000В. Вместе с тем, следует отметить достаточно низкий неудовлетворительный фронт снижения показателя  $M(\text{ЭП})_i$ . Экстраполяция этого показателя подтверждает низкий уровень электробезопасности в отрасли, который будет сохраняться в будущем до тех пор, пока государство не примет действенных мер в этом направлении.

Имеющиеся на кривой (рис. 4) «всплески» и «провалы» в значениях показателя  $M(\text{ЭП})_i$  подтверждают гипотезу о случайном возникновении этих событий. Несмотря на то, что каждая электротравма в этом потоке обусловлена конкретными «своими» причинами, можно сделать предположение, что весь поток электротравм как редких событий подчиняется дискретным распределениям биномиального типа [4].

Наиболее подходящим для описания частоты электротравм является распределение Пуассона.

$$f_n = a^n \exp(-a) \quad (2)$$

где  $n = 0, 1, 2, \dots$  – число электротравм,  $a$  – параметр распределения.



**Рисунок 4. Динамика изменения показателя М(ЭП);**

Математическое ожидание и дисперсия для распределения Пуассона соответственно равны:

$$M\{n\} = \sum_{n=0}^{\infty} n f_n = a \quad (3)$$

$$D\{n\} = \sigma_n = M\{(n-a)^2\} = \sum_{n=0}^{\infty} (n-a)^2 f_n = a \quad (4)$$

На основании теоремы Бернулли средняя частота рассматриваемых событий (электротравм), равная  $a/n$ , при бесконечном росте  $n$  стремится к вероятности электротравматизма  $P_{ЭТ}$ :

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a}{n} = P_{ЭТ} \quad (5)$$

Тогда  $f_n$  можно представить, как

$$f_n = \frac{1}{n!} (nP_{ЭТ})^n \exp(-nP_{ЭТ}) \quad (6)$$

Причем  $P_{ЭТ}$  не должна превышать значения верхнего допустимого (нормируемого) уровня риска.

Наряду с математическими методами прогнозирования электротравматизма могут быть использованы эвристические, в частности, дельфийский метод [5], суть которого состоит в проведении экспертного прогнозирования путем организации системы сбора экспертных оценок и их статистической обработки. Несмотря на содержащуюся в нем долю субъективизма, заключающуюся в интуитивном мнении отдельных специалистов-экспертов, этот метод в сочетании с аналитическим дает не только достоверные и качественные результаты прогноза, но позволяет составить возможные сценарии будущего. Эвристический метод свободен от формализованных математических описаний и позволяет прогнозировать событие на ближайшие 10-15 лет, учитывая при этом возможное «вмешательство» внешних факторов, социально-экономического и политического характера.

### Выводы

1. В настоящее время отсутствуют эффективные методы определения ресурса безопасности эксплуатации электроустановок (электропроводок) зданий и сооружений. Поэтому для повышения эффективности и безопасной эксплуатации электрооборудования и электроустановок на каких-либо объектах представляется перспективным создание системы технической диагностики состояния электропроводок, оценки и прогнозирования остаточного ресурса и продления сроков их эксплуатации.

2. Системный подход к анализу и прогнозированию электротравматизма представляет общую методологическую основу для комплексного решения проблемы повышения безопасности электроустановок, применяемых на объектах экономики.

---

### Список литературы

1. Полухин О.В., Сошников А.А. Исследование пережога электропроводки электрической дугой // Механизация и электризация сельского хозяйства. 2009. №5. С. 17-19.
  2. Инженерное прогнозирование/ В.Г. Гмошинский. М.: Энергоатомиздат, 1982, 208 с.
  3. Условия труда, производственный травматизм // Российский статистический ежегодник. М.: Статистика. 2006-2016 гг.
  4. Теория вероятностей и математическая статистика/ В.Е. Гмурман. М.: Высшая школа, 1988, 688 с.
  5. Научно-техническое прогнозирование для промышленности и правительственных учреждений/ Д. Байд. М.: Прогресс, 1972, 497 с.
- 

**Калинин Александр Федорович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрооборудование и энергосбережение», Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева  
302026, РФ, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95  
Телефон: 8-924-390-49-15  
E-mail: a.k.brit@mail.ru

**Ерёмина Тамара Владимировна**, доктор технических наук, профессор кафедры «Экология и безопасность жизнедеятельности», Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления  
670033, Республика Бурятия г.Улан-Удэ, ул. Шумяцкого, дом 10, кв. 59  
Телефон: 8-924-656-68-65  
E-mail: t.e.vsgutu@mail.ru