

УДК 681.51

Л. Г. Черная, канд. техн. наук, М. П. Слука**ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК
ВО ВЗРЫВООПАСНЫХ ЗОНАХ**

Рассмотрены вопросы разработки методики диагностирования электроустановок во взрывоопасных зонах с целью определения надежности и продления их технического ресурса.

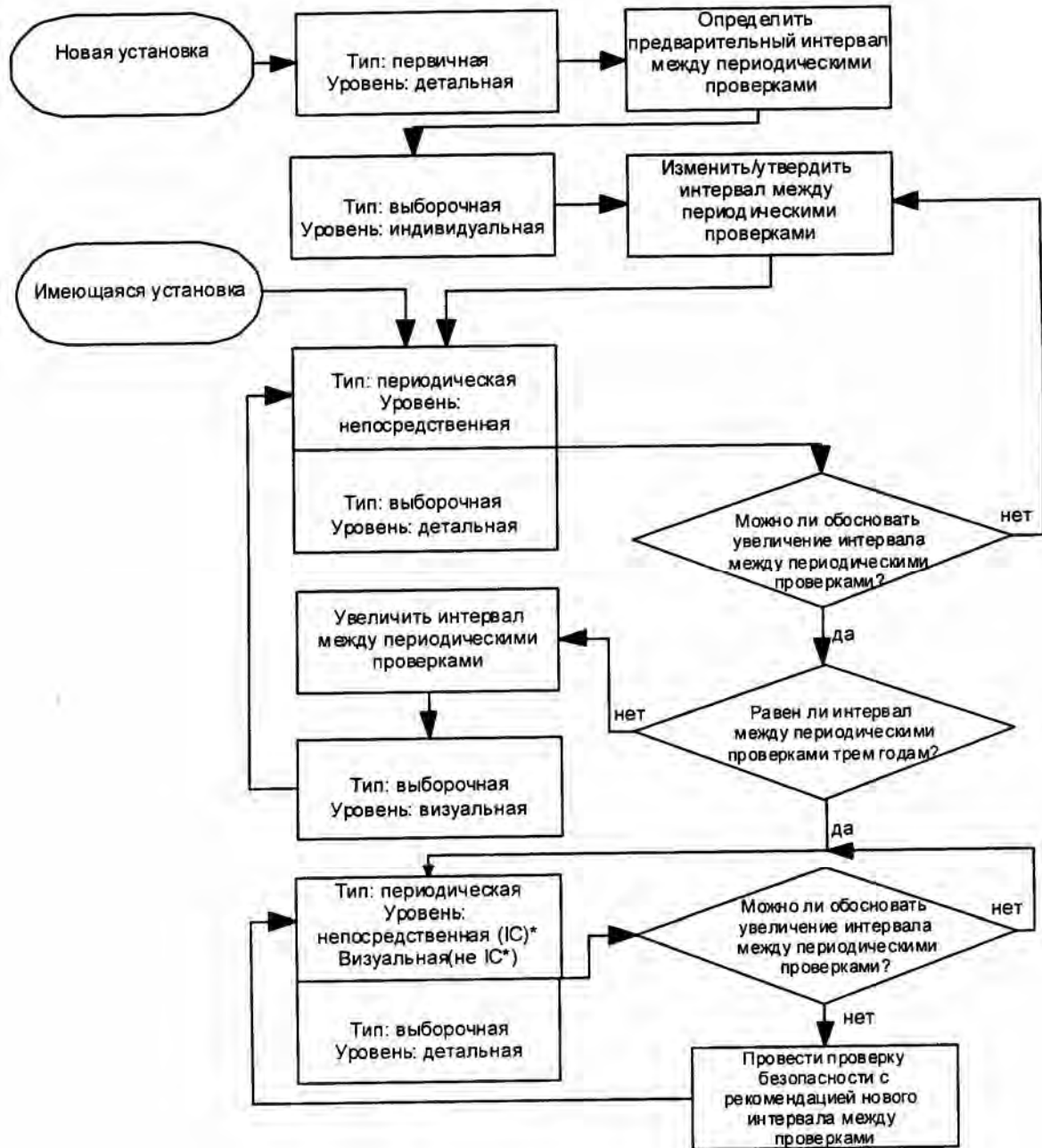
Надежность электроустановок во взрывоопасных зонах, особенно взрывозащищенного электрооборудования, является одним из важных факторов, определяющих промышленную безопасность опасных производственных объектов. Оценка надежности необходима для получения достоверной информации по фактическому состоянию эксплуатируемых электроустановок во взрывоопасных зонах [1, 2].

Перед вводом электроустановки в эксплуатацию должна быть проведена ее первичная проверка. С целью поддержания электроустановок в удовлетворительном состоянии должны выполняться регулярные периодические проверки. Интервал между периодическими проверками должен быть установлен с учетом предполагаемого ухудшения характеристик электрооборудования в процессе эксплуатации, не реже одного раза в 3 года. К основным факторам, обуславливающим ухудшение характеристик электроустановок, относятся: восприимчивость к коррозии, воздействие химикатов или растворителей, вероятность накопления пыли или грязи, вероятность попадания воды, воздействия экстремальной температуры окружающей среды, риск механического повреждения, воздействие нерегламентированной вибрации, недостаточное обучение и стажировка персонала, вероятность несанкционированных изменений или регулировок, вероятность нарушений требований эксплуатационной документации [3]. На рис. 1 представлен порядок проведения проверок с целью прогнозирования остаточного ресурса и повышения надежности электроустановок во взрывоопасных зонах. В последнее время все больше предприятий переходит на систему обслуживания оборудования по техническому состоянию, основанную на программе прогнозируемого обслуживания (ППО). Решение задач прогнозирования весьма важно, в частности, для организации предупредительных ремонтов. Такая программа предусматривает постоянный мониторинг технического состояния оборудования, диагностирование развивающихся неисправностей. За счет предупреждения аварийных ситуаций, заблаговременного планирования проведения ремонта конкретных узлов, уменьшения объемов ремонтов и увеличения межремонтных периодов применение системы ППО позволяет снизить затраты на обслуживание оборудования вдвое [4].

Для мониторинга технического состояния электроустановок применяются автономные микропроцессорные приборы, позволяющие измерять диагностические признаки и запоминать данные с помощью разнотипных датчиков, как переносных, так и стационарно установленных на электроустановках с последующей компьютерной обработкой, автоматическим диагностированием технического состояния электроустановок и прогнозированием его изменений.

Трудность заключается в выборе оптимального количества диагностических признаков и пределов, за которые диагностические признаки не должны выйти. Например, при мониторинге взрывозащищенных электродвигателей вместе с параметрами тепловых процессов, измеренными в статорной, роторной обмотках, железе статора, вибрационными параметрами, электрическими параметрами отклонений тока

и напряжения, изменения составляющих этих величин по амплитуде, фазе, частоте, используются для получения диагностических признаков также и отклонения сигнала относительно опорного сигнала, взятого за эталонный.



Примечание –*IC – способность к воспламенению в обычном режиме

Рис. 1. Порядок проведения периодических проверок электроустановок

На рис. 2. изображен тренд диагностического признака V , представляющего зависимость контролируемого параметра от времени. При рассмотрении тренда можно обнаружить три участка, на которых значение диагностического признака

изменяется монотонно: «приработка», «нормальная эксплуатация», «интенсивный износ».

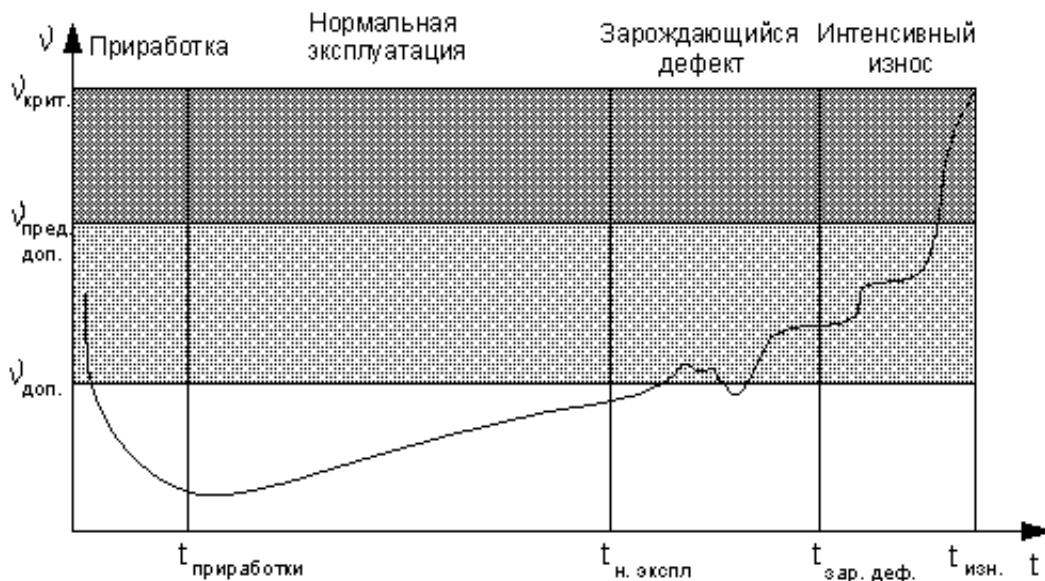


Рис. 2. Тренд диагностического признака v

Наибольший практический интерес представляет вторая стадия и начало третьей, так как требуется определить, когда и по каким причинам контролируемое оборудование выйдет из строя. Для определения момента времени, в который произойдет достижение диагностическим признаком предельного значения, можно воспользоваться методом регрессионного анализа. Для получения удовлетворительного прогноза для j -го диагностического признака v_j нужно использовать большое число контролируемых точек. Для случая линейной экстраполяции находим уравнение прямой, проходящей через среднее значение диагностического признака:

$$v_j = v_{0j} + k_j t, \quad j = 1 \dots q,$$

где v_{0j} — значение j -го диагностического признака в начальный момент; k_j — коэффициент; t — время, q — число диагностических признаков, на основании которых строится модель прогнозирования остаточного ресурса электроустановок.

Для нахождения коэффициента k_j воспользуемся зависимостями:

$$k_j = \frac{S_t S_{vj} - N S_{tvj}}{S_t^2 - N S_{t^2}};$$

$$v_{0j} = \frac{1}{N} (S_{vj} - k_j S_t),$$

где $S_t = \sum_{i=1}^N t_i$; $S_{vj} = \sum_{i=1}^N v_{ji}$; $S_{tvj} = \sum_{i=1}^N t_i v_{ji}$; $S_{t^2} = \sum_{i=1}^N t_i^2$; N — число наблюдений (контрольных замеров).

Следует помнить, что при таких расчетах не учитывается возможность внезапного выхода оборудования из строя. Достоверный прогноз может быть получен на срок, не превышающий 20 % от времени наблюдений.

Прогнозирование остаточного ресурса оборудования базируется на методе экспертных оценок с учетом мнения квалифицированных специалистов. Сложность прогнозирования заключается в выборе моделей развития дефектов или тенденций развития диагностических признаков. По результатам первичной обработки информации в микропроцессорной системе с использованием математических моделей прогнозируется поведение электроустановки в реальных условиях. Данные прогноза сравниваются с данными, полученными в результате оптимизации, анализируются с точки зрения совместимости. По полученным результатам принимается решение: вывести электроустановку в капитальный ремонт или вывести из эксплуатации, или продлить срок службы по результатам технического обслуживания.

Для оптимизации затрат на обеспечение надежности и безопасности эксплуатируемых электроустановок составляется целевая функция $I_1[v(t)U(t)]$, представляющая собой свертку β частных критериев оптимизации $I_i[v(t)U(t)]$ с весовыми коэффициентами α_i :

$$I[v(t), U(t)] = \sum_{i=1}^{\beta} \alpha_i I_i[v(t), U(t)] \rightarrow \text{extr}, \text{ если } U_* \leq U(t) \leq U^*,$$

где $v(t)$ – вектор управляемых переменных (диагностических признаков); $U(t)$ – вектор управляющих воздействий (факторов, влияющих на управляемые переменные); U_* , U^* – границы области допустимых значений управляющих воздействий.

Весовые коэффициенты учитывают относительную важность того или иного критерия и устанавливаются путем экспертных оценок.

Алгоритм оптимального управления $U_{\text{opt}}(t)$, удовлетворяющий условию целевой функции, позволяет обеспечить надежность и безопасность электроустановок во взрывоопасных зонах при оптимальных затратах. Критерием оптимизации для взрывозащищенных электродвигателей может служить минимум приведенных затрат. Такие затраты зависят от показателей надежности: средней наработки на отказ и среднего ресурса до первого капитального ремонта. Для решения задач оптимизации выбран метод случайного поиска, поскольку рассмотренные ранее детерминированные методы поиска приводят к локальной оптимизации и для определения глобального экстремума необходимо проводить дополнительные исследования. Как известно, метод случайного поиска позволяет определить оптимум целевой функции или направленное движение к экстремуму в результате сознательного использования случайных элементов (случайных чисел). Для этого необходимо из некоторой точки допустимой области с известным значением целевой функции сделать шаг величиной λ в случайном направлении и в полученной точке поставить эксперимент. Если целевая функция в этой точке оказывается больше (в случае нахождения ее максимума), чем в начальной точке, шаг считается успешным, и следующий шаг в случайном направлении делается из этой новой точки. Если же шаг делается неуспешным, осуществляется возврат к исходной точке. Поиск прекращается, если определенное число шагов не приводит к увеличению целевой функции. Число таких шагов обычно определяется размерностью факторного пространства. Эффективной модификацией метода случайного поиска является метод, предложенный Ноллау–Фюрстом, который позволяет в случае неуспешного шага сделать новый шаг из исходной точки

в противоположном направлении. Если этот шаг также оказывается неуспешным, следует выбрать либо новое случайное направление, либо уменьшить величину шага. Необходимое число опытов по отысканию алгоритма оптимального управления может быть рассчитано по формуле [109]

$$R = \left(\frac{1}{\Delta}\right)^N \cdot \ln \frac{1}{1 - P_{\Delta}},$$

где P_{Δ} – вероятность получения положения оптимума с точностью до величины Δ ; Δ – граница точности по каждой координате факторного пространства (отношение модуля отклонения действительного положения экстремума от экспериментально найденного к диапазону измерения фактора), предполагается, что величина Δ для всех N факторов одинакова.

При большой размерности N -факторного пространства и при требовании достаточно точного определения положения оптимума использование этого метода приводит к необходимости реализации чрезмерно большого числа опытов. При учете надежности экономический эффект увеличивается в 1,9-4,1 раза по мере роста числа принимаемых во внимание при оптимизации признаков.

Решение задачи безопасности опасных производственных объектов связано с определением оценки риска, которая базируется на разработке схем функциональной целостности дерева отказов опасных производственных объектов и нахождением вероятности аварий. Наиболее известными программными комплексами, реализующими технологию деревьев отказов и событий, являются, в настоящее время, «Риск Спектрум» (Швеция), «Релекс» (США), АСМ СЗМА (Россия) [5]. На рис. 3 представлена функциональная схема безопасности заправочной станции, а на рис. 4 – схема функциональной целостности дерева отказов, выполненная с помощью автоматизированной системы моделирования.

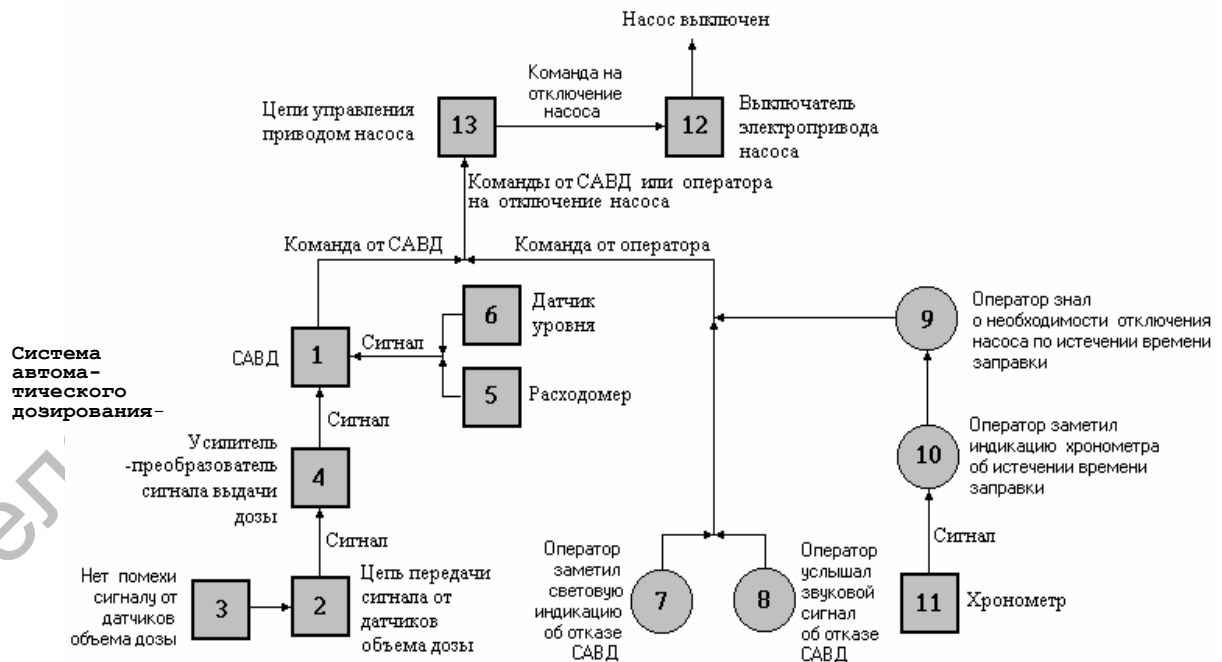


Рис. 3. Функциональная схема безопасности заправочной станции

По результатам моделирования вычисляются вероятности безаварийного функционирования объекта и аварий, определяется значимость и вклады каждого элемента в безопасность. Для заправочной станции вероятность безотказной работы $P(\bar{y}_{23}) = 0,999971$, вероятность аварий $P(y_{23}) = 0,000029$.

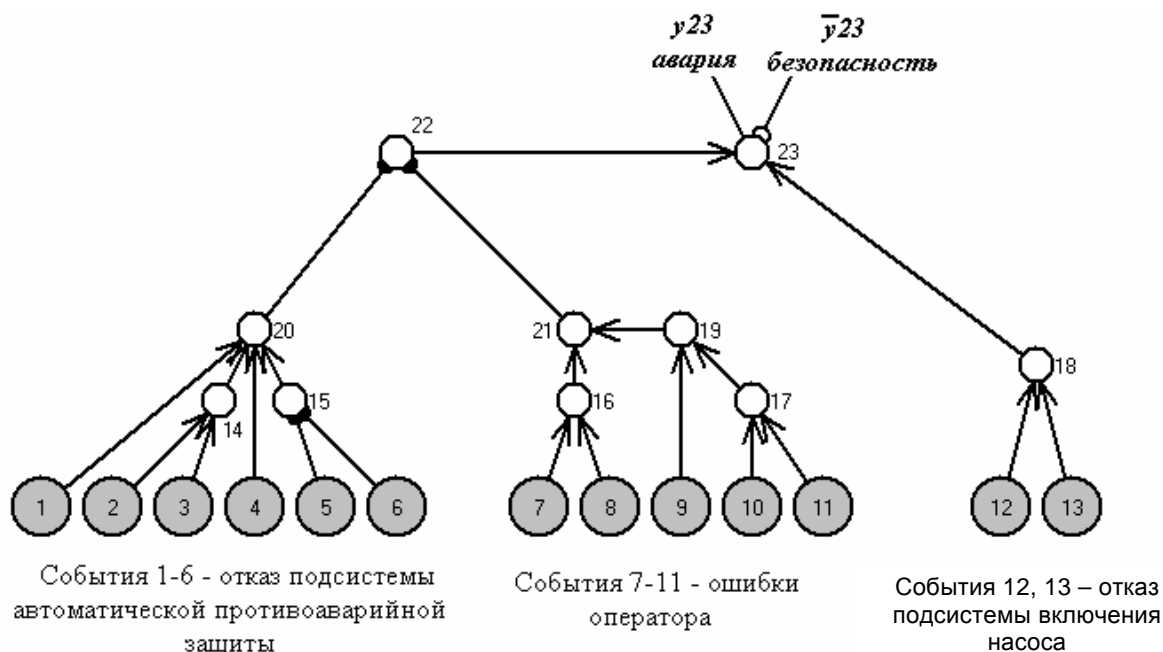


Рис. 4. Схема функциональной целостности дерева отказов заправочной станции

Применение современных микропроцессорных и компьютерных систем обработки данных по заданным алгоритмам позволяет определить остаточный ресурс электроустановок на опасных производственных объектах и возможные сценарии возникновения аварийных ситуаций в случае выхода их из строя; планировать действия персонала по их ремонту и замене, а аварийно-спасательных служб – по локализации и ликвидации аварийных ситуаций; разработать мероприятия, направленные на повышение противоаварийной защиты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Слуга, М. П. Энергосберегающая электромеханическая система мешалки реактора поликонденсации / М. П. Слуга, Л. Г. Черная, С. В. Лукьянец // Вестн. МГТУ. – 2002. – № 2. – С. 145-150.
2. Chornaya, L. G. The explosion-proof electromechanical system for production of polyethyleneterephthalata (Взрывобезопасная электромеханическая система для производства полиэтилен-терефталата) / L. G. Chornaya, M. P. Sluka // UNITECH-04: International scientific conference. – Gabrovo. – 2004. – С. 108-111.
3. ГОСТ 30852.16-2002. Электрооборудование взрывозащищенное. Проверка и техническое обслуживание электроустановок во взрывоопасных зонах. – Минск : Госстандарт Республики Беларусь. – 2003. – 49 с.
4. Назарычев, А. Н. Основные принципы системы техобслуживания и ремонта и электрооборудования по техническому состоянию / А. Н. Назарычев, В. А. Савельев. – Новосибирск : Наука, 2004. – С. 173-184.

5. Автоматизированные системы управления. Надежность и безопасность. Расчет надежности и безопасности автоматизированных систем управления технологическими процессами и инженерным оборудованием : Методические рекомендации / Сост. А. А. Нозик, А. С. Можаяв. – СПб. : СПИК СЗМА, 2002. – 34 с.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 24.02.2006

L. G. Chornaya, M. P. Sluka
Reliability and safety estimation of the
electrical equipment in explosive areas
Belarusian-Russian University

The questions of devising a method of the electrical equipment diagnosis in explosive areas have been considered with the purpose of solving the reliability of the electrical equipment and prolonging its life time.