

ским фактором вследствие перехода от затратной экономики к рыночной и фактом появления новых эффективных средств контроля и диагностики технического состояния систем ЖАТ. При этом при использовании восстановительной стратегии цель технического обслуживания средств ЖАТ будет в полной мере достигнута при соблюдении двух условий: мгновенного обнаружения появившихся в системе отказов и устранения этого отказа за интервал времени τ_0 , который удовлетворяет условию $\tau_0 < \Delta\tau_n$, где τ_0 – допустимая длительность интервала времени, в течение которого устраняется опасный отказ; $\Delta\tau_n$ – интервал времени, в течение которого в состоянии управляемых объектов не могут произойти существенные изменения с необратимыми катастрофическими последствиями. Реализация указанных условий возможна при использовании современных микропроцессорных систем мониторинга технического состояния средств ЖАТ, обеспечивающих текущий контроль, диагностику и мгновенное обнаружение отказов в устройствах.

УДК 537.2.003.24

РЕШЕНИЕ ПЕРВОЙ ОСНОВНОЙ ЗАДАЧИ ЭЛЕКТРОСТАТИКИ ХОРОШО СХОДЯЩИМСЯ ИТЕРАЦИОННЫМ МЕТОДОМ

В. С. МОГИЛА

Белорусский государственный университет транспорта

Д. В. КОМНАТНЫЙ

ПУ «Инфотех» РУП «ПО Белоруснефть»

Конструирование узлов микроэлектронной и микропроцессорной аппаратуры ЖАТ, связи и вычислительной техники, силовых кабелей и кабелей связи и многих других технических средств систем управления ответственными технологическими процессами требует расчета характеристик электрических полей. В силу сложной конфигурации граничных поверхностей в таких задачах расчеты ведутся путем численного решения интегральных уравнений, которые для плоскопараллельного поля имеют вид

$$\varphi(Q) = \frac{1}{2\pi\epsilon_a} \int_l \tau(M) \ln \frac{1}{r_{QM}} dl, \quad (1)$$

$$\sigma(Q) = \int_l \tau(M) \frac{\cos(r_{QM}, n_Q)}{2\pi r_{QM}} dl, \quad (2)$$

где $\varphi(Q)$ – потенциал в некоторой точке граничной поверхности Q , В; ϵ_a – абсолютная диэлектрическая проницаемость среды, Ф/м; $\tau(M)$ – линейная плотность заряда в точке граничной поверхности M , Кл/м; r_{QM} – расстояние между точками Q и M , м; $\sigma(Q)$ – поверхностная плотность заряда в точке Q , Кл/м²; n_Q – нормаль к граничной поверхности в точке Q ; l – длина граничной поверхности, м.

Если на границах задачи заданы потенциалы (первая задача электростатики), то обычно применяется уравнение (1). Методы численного решения этого уравнения имеют внутренние трудности сходимости и устойчивости. В то же время существует сходящийся итерационный метод решения уравнения (2). Чтобы применить его при решении первой основной задачи электростатики, предлагается вести расчет распределения линейной плотности заряда по границам задачи в два этапа. На первом этапе уравнение (1) сводится к системе алгебраических уравнений путем разделения границ задачи на небольшое число прямых граничных элементов. Полученная система уравнений имеет вид

$$[\varphi] = [\alpha][\tau], \quad (3)$$

где $[\varphi]$ – матрица-столбец потенциалов в центрах граничных элементов; $[\tau]$ – матрица-столбец линейных плотностей зарядов граничных элементов. Коэффициенты матрицы $[\alpha]$ определяются по формулам:

$$\alpha_{ij} = \frac{1}{2\pi\epsilon_a} \ln \frac{1}{r_{ij}}, \quad (4)$$

$$\alpha_{ii} = -\frac{1}{8\pi\epsilon_a a_i} (a_i \ln a_i^4 - 4a_i), \quad (5)$$

где r_{ij} – расстояние между центрами граничных элементов, м; a_i – полудлина граничного элемента, м. Соотношение (4) выражает связь потенциала в центре i -того граничного элемента и заряда j -того граничного элемента; при этом предполагается, что действие граничного элемента равно действию электрической оси, размещенной в центре граничного элемента. Формула (5) выражает связь потенциала в центре i -того граничного элемента и заряда этого же элемента. Получена она из известного решения для поля бесконечной заряженной ленты. Система (3) может быть решена при небольшом числе граничных элементов без вычислительных трудностей.

В результате решения системы (3) определяются заряды граничных элементов, которые являются первым приближением при решении уравнения (2). Это уравнение решается итерационным методом на более густой сетке граничных элементов, дающей высокую точность решения. Первый шаг метода заключается в вычислении нормальной составляющей индукции электростатического поля в центрах граничных элементов по формуле

$$[D_n^s] = [M][\tau^{s-1}], \quad (6)$$

где $[D_n^s]$ – матрица-столбец нормальных составляющих индукции на s -том приближении; $[\tau^{s-1}]$ – матрица-столбец зарядов граничных элементов, полученных на s минус первом приближении; $[M]$ – матрица параметров размерности $N \times N$, где N – число граничных элементов, имеющих нулевую левую диагональ. Параметр M_{ij} выражает зависимость нормальной составляющей вектора электрической индукции в центре элемента i от заряда элемента j . Он определяется из геометрических соображений по формуле

$$M_{ij} = \frac{\Delta x_{ij}}{2\pi r_{ij}^2} \cos(\varphi_i) + \frac{\Delta y_{ij}}{2\pi r_{ij}^2} \cos(90 - \varphi_i), \quad (7)$$

где $\Delta x_{ij}, \Delta y_{ij}$ – разности координат x и y между центрами i -того и j -того элемента; φ_i – угол, определяющий направление нормали в центре элемента i . В формуле (7) также предполагается, что действие граничного элемента эквивалентно действию электрической оси в его центре.

Второй шаг метода – вычисление линейных зарядов граничных элементов по формуле

$$[\tau^s] = [D_n^s]^T [T]. \quad (8)$$

На основании теоремы Гаусса можно показать, что элементы матрицы-столбца $[T]$ для граничных элементов в виде отрезка определяются по формуле

$$T_i = \frac{1}{2a_i}. \quad (9)$$

Процесс, описываемый формулами (6) и (8), сходится при любой густоте сетки граничных элементов, если на каждой итерации сохраняется полный линейный заряд границ. Это обеспечивается процедурой нормировки. Она заключается в том, что полный заряд каждой границы на s -той итерации делится на полный заряд границы на предыдущей итерации и затем заряды граничных элементов умножаются на получившийся коэффициент. В результате полные заряды границ на двух последовательных итерациях не меняются. Итерации повторяются до тех пор, пока разность потенциалов между граничными элементами, принадлежащими одному проводнику, не станет меньше наперед заданной точности расчета. Зная линейные заряды граничных элементов, легко найти потенциал поля в любой точке по уравнению (1), заменяя в нем интеграл по границам задачи суммой полей граничных элементов.

Предлагаемый способ проверен путем расчета поля в системе трех бесконечных проводников прямоугольного сечения с заданными потенциалами. Расчеты показали, что потенциалы проводов, вычисленные по рассчитанным зарядам граничных элементов, отличаются от заданных на незначительную величину. Это дает основание заключить, что предлагаемый метод позволяет рассчитывать характеристики плоскопараллельного электрического поля. Его достоинством является применение итерационного метода хорошей сходимости для достижения высокой точности расчета.

УДК 656.25.001.57

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

В. И. МОЙСЕЕНКО, В. М. БУТЕНКО, А. В. ГОЛОВКО

Украинская государственная академия железнодорожного транспорта

Модернизация технических средств железнодорожной автоматики, происходящая в настоящее время во всех промышленно развитых странах мира, выдвигает ряд требований, связанных с проведением анализа количественной и качественной оценки их функционирования. В первую очередь, представляет интерес оценка показателей безопасности как составляющих компонент систем управления, так и комплекса в целом.

В настоящее время имеется достаточно разработанный математический аппарат теории надежности, используемый во многих областях техники. В атомной энергетике, авиационной и аэрокосмической отраслях находят широкое применение методы анализа и количественной оценки показателей надежности, основанные на деревьях отказов и деревьях событий. Дальнейшим развитием этого направления явилось создание аппарата схем функциональной целостности, которые объединяют в себе все возможные исходы начального набора событий.

Специфика функционирования железнодорожного транспорта требует проведения дополнительных исследований, связанных с особенностями эксплуатации транспортных систем. В связи с этим в докладе рассмотрены вопросы синтеза деревьев опасных состояний элементов систем обеспечения безопасности. Сформулированы критерии опасных состояний, на основе которых разработан математический аппарат, описывающий работу моделей. Практика разработки деревьев показывает, что всякая попытка детализации неизбежно приводит к резкому ветвлению дерева, что сильно усложняет анализ и особенно математические вычисления, описывающие его. Предложена методика, позволяющая автоматизировать как процесс создания исходного дерева, так и аппарат для его описания. В основу методики положены элементарные (минимальные) совпадения или сочетания опасных событий.

Дальнейшим развитием этого направления является использование схем функциональной целостности, которые позволяют расширить возможности данного аппарата.

УДК 658.012.011.56:656.21

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ГРАФИЧЕСКОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В АСУ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ И УЗЛОВ

В. А. ПАДАЛИЦА

Белорусская железная дорога

Безопасность эксплуатационной работы железнодорожных станций и узлов во многом зависит от информационного обеспечения оперативного управленческого персонала, который должен рас-