

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СХЕМ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

Одним из способов получения информации о характеристике системы на основе экспериментальных данных является *моделирование методом Монте-Карло* [1]. Данный метод состоит в «построении» большого числа систем с помощью вычислительной машины и численной оценке характеристик таких моделированных систем.

Одним из важных случаев применения моделирования методом Монте-Карло является оценка надежности сложных систем. Для каждой системы вычисляется параметр каждого компонента путем выбора случайной величины, равномерно распределенной в интервале  $(0, 1)$ , и сравнения её с требуемой надежностью.

Процесс проходит следующим образом: каждый раз, когда выбирается случайное число, равное необходимой надежности или превышающее это значение, отмечается отказ; в противном случае отмечается успешная работа. После того как это будет проделано для каждого компонента, находится вероятность безотказной работы и вероятность отказа для звеньев, а затем и для всей системы.

Основной недостаток метода Монте-Карло состоит в том, что для большинства задач требуется большое число испытаний. В результате этого затраты машинного времени на моделирование могут оказаться чрезвычайно большими, в особенности если в ходе вычислений встречается большое количество различных состояний системы, требующих сложного анализа условий отказа.

Преимущества моделирования методом Монте-Карло:

- отсутствуют ограничения на вид функций распределения продолжительностей отказа, ремонта и т. п.;
- легко ввести зависимости между событиями отказа, ремонта и др.;
- аналитические вычисления для этого метода весьма просты (за исключением анализа условий отказа);

- легко можно получить нестационарное решение;
- в расчетах легко учесть изменения в структуре системы.

В книгах Шумана [2] и Найта [3] можно найти указания по программированию и обсуждение возможных трудностей в анализе условий отказа при моделировании методом Монте-Карло.

Для описания процесса работы разработанной автором программы составлена упрощенная блок-схема показанная на рисунке 1.

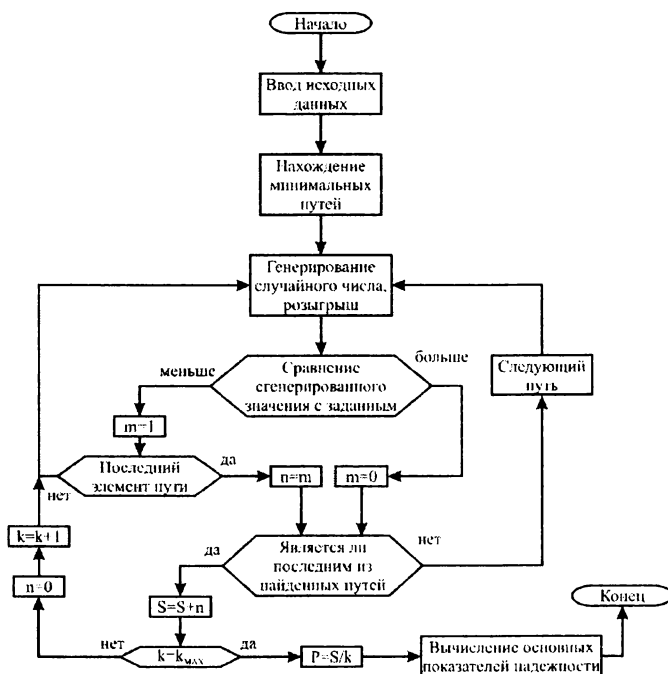


Рис. 1. Упрощенная блок-схема программы разработанной автором

Дадим краткое пояснение блок-схемы.

**Блок «ввод исходных данных».** На данном участке программы оператором вводятся необходимые числовые данные, а также графическим способом задается схема или участок схемы, который подлежит расчету. Формы для ввода исходных данных показаны на рисунках 2 и 3.

Ввод исходных данных достаточно прост, нагляден и занимает мало времени.

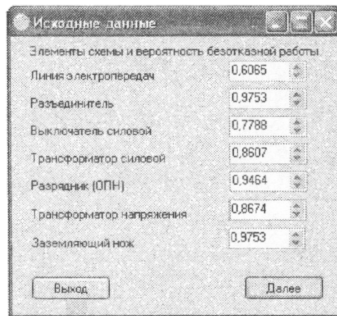


Рис. 2. Окно для ввода числовых данных необходимых для расчета

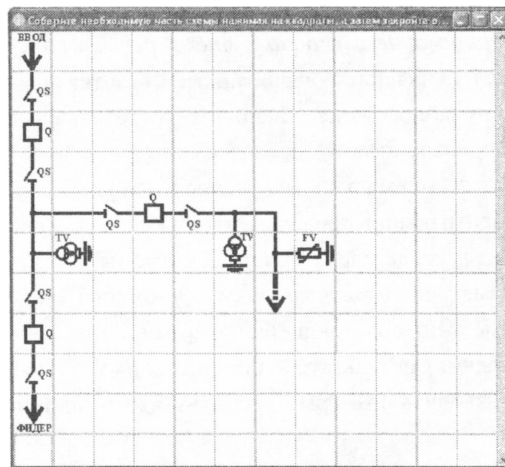


Рис. 3. Окно графического ввода расчетной схемы

*Блок «нахождение минимальных путей».* Путем называют множество элементов, рабочее состояние которых обеспечивает рабочее состояние системы. Соответствующий набор блоков на схеме обеспечивает связь между вводом и фидером схемы.

Эти пути представляют собой непрерывные последовательности элементов на физической схеме системы, через которые мощность может проходить от источника к потребителю. Не следует смешивать его с понятием пути в логических схемах. Определяемые здесь пути минимальны в обычном смысле слова: удаление любого из элементов на данном пути прервет

электропитание по нему. Пути можно проследить, продвигаясь к предшествующим элементам от потребителя к источнику. В этом процессе находятся промежуточные узлы, и если от некоторого узла начинается ветвь, которая еще не была обследована, то к числу путей добавляется еще один, который включает в себя последовательность элементов, пройденную до этого узла, и продолжается вдоль новой ветви.

Автором в программе заложены два алгоритма формирования путей. При первом алгоритме путь формируется из последовательных элементов схемы, которые отвечают за электропитание потребителей. А при втором алгоритме учитываются примыкающие элементы, вплоть до коммутационной аппаратуры, которая способна изменить путь. В [4] использовано схожее понятие «зона защиты». Программа не учитывает влияние автоматики.

*Блок «генерирование случайного числа, розыгрыш».* Так как в исходных данных задается значение вероятности безотказной работы, то для генерирования случайного числа используется стандартная функция  $rnd()$  с нормальным распределением.

Допущение о нормальности распределения характеристики системы, основанное на центральной предельной теореме, непосредственно применимо лишь в том случае, когда характеристика системы является суммой эффектов случайных параметров *большого числа* компонентов, когда ни один из параметров не имеет преобладающей дисперсии.

Для получения результатов приближенных к тяговым подстанциям необходимо производить розыгрыш, используя имитационную модель нагрузок контактной сети.

*Блок «сравнение сгенерированного значения с заданным».* В этом блоке происходит логическая операция по численному сравнению сгенерированного случайного числа с исходно заданным значением для конкретного элемента схемы (пути). Если сгенерированное значение меньше или равно исходно заданному значению, то элемент исправен, и наоборот.

*Блок «последний элемент пути».* В данном блоке происходит логическая операция по определению наличия последнего элемента в пути. При наличии хотя бы одного рабочего пути, переменная  $n$  будет иметь значение 1.

*Блок «является ли последним из найденных путей».* На этом этапе проверяется наличие последнего из найденных в блоке «нахождение минимальных путей» пути. Если он является таковым, то фиксируется результат текущего розыгрыша в виде счетчика  $S$  и уходит на начало нового розыгрыша.

Когда число розыгрышей станет больше или равно  $k_{\text{МАХ}}$ , то моделирование закончится и будет произведен расчет показателей надежности.

Так как при моделировании методом Монте-Карло используются случайные числа, получаемые результаты подвержены статистическим колебаниям. Поэтому любая оценка не является точной, ей соответствует определенный интервал между доверительными границами. Чем больше число испытаний  $k_{\text{МАХ}}$  при моделировании, тем более точным будет окончательный результат и при достаточно большом числе испытаний можно получить сколь угодно малую ошибку. На практике обычно задается допустимая ошибка, и эта информация используется для определения требуемого числа испытаний.

Отметим также различия в рассмотрении погодных условий и нагрузки. Интенсивности изменений погоды не зависят от состояний системы, в то время как, интенсивности изменений нагрузки зависят от состояния системы. С другой стороны, интенсивность отказов элементов не зависит от нагрузки, но зато зависит от погоды.

Из выше сказанного можно сделать следующие выводы

1. Анализ условий отказа и вычисление показателей надежности для подстанций и систем электроснабжения района можно в большой мере автоматизировать.

2. Как для аналитического метода, так и для метода статистических испытаний затраты времени пропорциональны числу состояний, которые необходимо проанализировать. Число при аналитическом методе рассматриваемых состояний растет экспоненциально с увеличением числа элементов системы, а при использовании метода Монте-Карло требуемый объем вычислений возрастает с возрастанием числа элементов системы всего лишь линейно.

3. Основным недостатком применения статического моделирования является громадное число испытаний (экспериментов), необходимых, как правило, для, того чтобы получить приемлемый уровень точности вычисления показателей надежности системы.

### **Библиографический список**

1. Хан Г., Шаниро С. *Статические модели в инженерных задачах*. Пер. с англ./Под ред. В. В. Налимова. — М: МИР, 1969, 395 стр.
2. Shooman, M.C., *Probabilistic Reliability: An Engineering Approach*. McGraw-Hill, New York, 1968.

3. Knight, V.G., *Power Systems Engineering and Mathematics*. Pergamon, Oxford, England, 1972.

4. Эндрени Дж. *Моделирование при расчетах надежности в электроэнергетических системах: Пер. с англ./Под ред. Ю. Н. Руденко*. М.: Энергоатомиздат, 1983, 336 с.