ВЫБОР МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СЕТЕВЫХ СИСТЕМ

Н. З. Шацев

Ленинград

Широко применяемые количественные показатели надежности преимущественно используются в системах, имеющих основное (последовательное в смысле надежности) или резервное (параллельное) соединение, а также в параллельно-последовательных и последовательно-параллельных системах.

В ряде весьма сложных систем нельзя определить вид соединения элементов (групп элементов) и отнести их к основному или резервному. К таким системам можно отнести сеть железных дорог, сеть автодорог, речные пути сообщения, транспортные сети, включающие несколько видов транспорта, сети электроснабжения, сети связи и другие. Назовем эти системы сетевыми.

Оценка надежности этих систем нужна для прогнозирования нарушений работы сети, для нахождения элементов, отказ которых может вызвать наиболее ощутимые последствия, для выбора наиболее рациональных путей надежного обеспечения производственного процесса. В основу расчетов недостаточно положить только общепринятые показатели надежности прежде всего потому, что значение отдельных элементов в обеспечении производительности сети может быть резко различным. Поэтому необходимо иметь в виду производственную эффективность сети в целом и ее элементов.

Сетевые системы представим в виде графа, в котором ребрами являются подсистемы, имеющие основное соединение элементов.

На оценку надежности производственного процесса системы оказывают влияние:

$N_з$ — заданная производительность системы (количество грузов, перевозимых по транспортной сети в сутки, мощность, передаваемая по энергосистеме, количество информации, передаваемое в единицу времени по системе связи и т. д.);

N_j — производительность подсистемы;

P_i — вероятность появления отказа в i-м элементе j-й подсистемы;

T_i — показатель, учитывающий влияние отказа i-го элемента на производительность подсистемы.

Количественная оценка надежности сетевой системы определяется значением функции

$$F = F(N_з,\ N_j,\ P_i,\ T_i), \tag{1}$$

экстремальное значение которой дает возможность выбрать метод повышения надежности для достижения защитной производительности.

Значение $N_з$ устанавливается планом работы системы;

N_j — определяется по техническим характеристикам подсистем;

P_i — рассчитывается на основании испытаний или справочных данных.

Устанавливая показатель T_i, следует учитывать потери в производительности $\bar{j}$-й подсистемы в случае отказа $\bar{i}$-го элемента.

Отказ в работе может привести к перерыву в действии подсистемы $\bar{t}_{\text{пер}}$, к снижению производительности ее до величины $N_{c\,i}$ на период $\bar{t}_{c\,i}$, а также к последовательному возникновению перерыва и снижению производительности, поэтому принимаем за показатель T_i приведенный перерыв:

$$T_i = t_{\text{пер}} + \frac{N_j - N_{c\,i}}{N_j} \bar{t}_{ci}. \tag{2}$$

Для подсистемы, состоящей из n элементов, имеющих основное соединение, показателем, учитывающим влияние отказов на ее производительность, явится математическое ожидание приведенного перерыва

$$T_j = \sum_{1}^{n} P_i T_i. \tag{3}$$

Однако с целью использования этого показателя для оценки сети нужно ввести дополнительный показатель — условную производительность подсистемы N_{yj}, определяемую следующим образом:

$$N_{yj} = N_j \frac{T_p - T_j}{T_p}, \tag{4}$$

где T_p — расчетное время действия подсистемы, за которое определяется значение P_i.

Условная производительность — это усредненная за период T_p производительность с учетом потерь. Для определения достаточной надежности сети и в случае необходимости повышения надежности следует применить алгоритм, позволяющий найти наихудшее сечение графа. Используя этот алгоритм, например для железнодорожной сети, примем в качестве показателя производительности системы и ее составляющих величину пропускной способности.

Наихудшее сечение для плоского графа, имеющего вход А и выход Б, выделяется следующим образом:

анализируется крайний путь № 1 из А в Б и устанавливается ребро с наименьшим значением $N_{1\,\min}$; это ребро фиксируется как часть сети, в которой использована вся пропускная способность; значение $N_{1\,\min}$ вычитается из значения N_j других ребер пути № 1;

анализируется следующий крайний путь № 2, образовавшийся после того, как из рассмотрения исключили ребра с $N_{1\,\min}$. При этом для ребер, анализируемых в маршруте № 1, учитываются пропускные способности $N_j - N_{1\,\min}$; в пути № 2 устанавливается ребро с $N_{2\,\min}$; значение $N_{2\,\min}$ вычитается из значений N_j (или из $N_j - N_{1\,\min}$) ребер пути № 2; ребро с $N_{2\,\min}$ фиксируется как часть сети, в которой использована вся пропускная способность;

таким же образом другие крайние пути анализируются до тех пор, пока дальнейшая прокладка путей станет невозможной, в результате разделения сети на две части сечением, которое является наихудшим.

Сумма пропускных способностей наихудшего сечения есть максимальная пропускная способность сети (по наихудшему сечению)

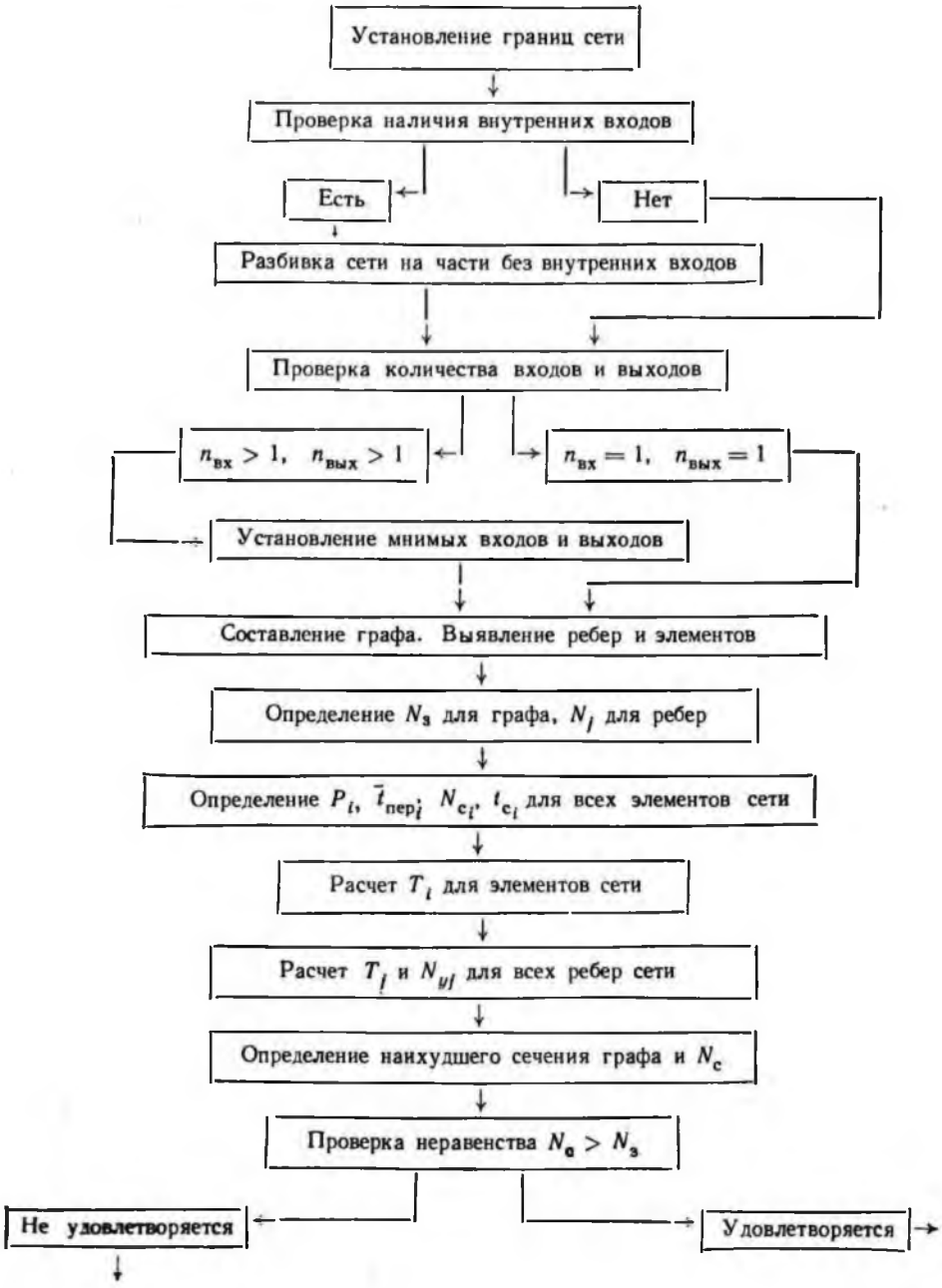
$$N_c = \Sigma N_j. \tag{5}$$

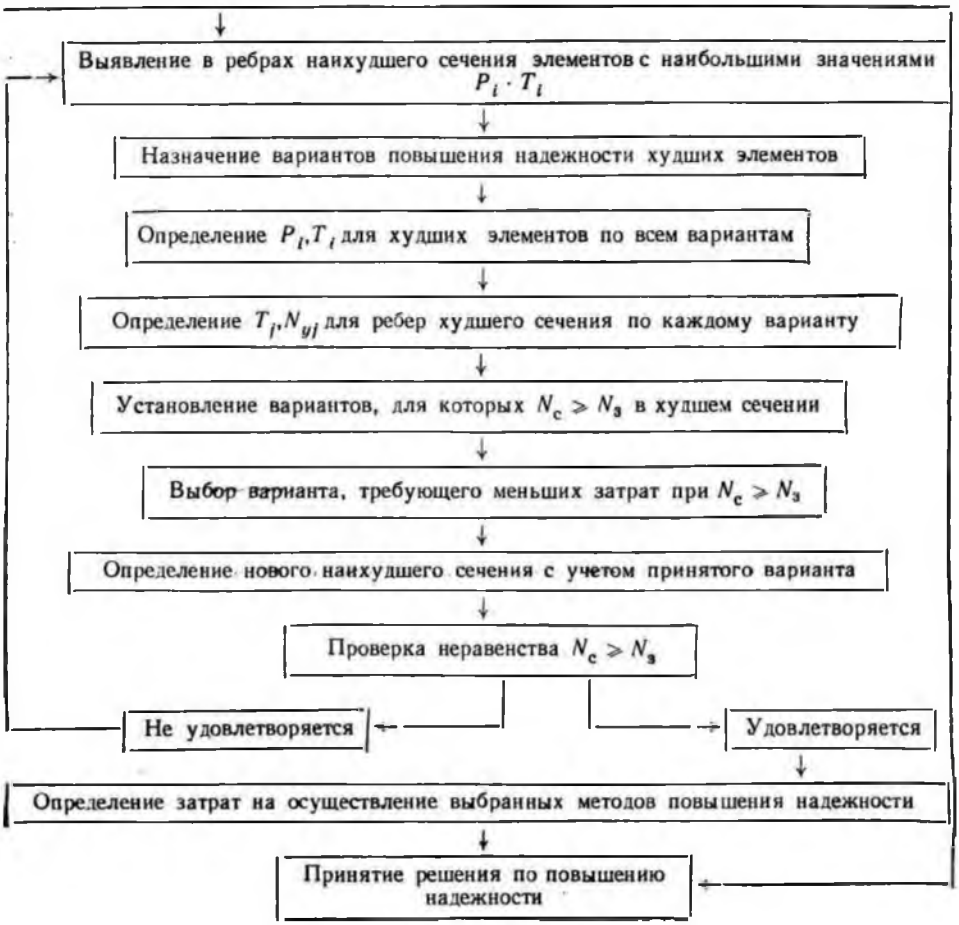
Оптимизация функции (1) производится путем последовательного нахождения сечений с недостаточно надежными ребрами и определе-

ния мероприятий, обеспечивающих достаточную надежность. Понятие «достаточная надежность» есть категория вероятностная.

Расчет надежности сети для выбора наиболее рациональных методов производится следующим образом.

На основании исходных данных по каждому элементу (P_i, $\bar{t}_{\text{пер}\,i}$, $N_{\text{с}\,i}$, $\bar{t}_{\text{с}\,i}$), имея в виду значение N_j для ребер, определяем для элементов по уравнению (3) значения T_i, для ребер по уравнению (3) — значения T_j, по уравнению (4) — N_{yj}.





Блок-схема расчетов для выбора вариантов повышения надежности сетевой системы

Используя описанный выше алгоритм, определяем наихудшее сечение и по уравнению (5) — его условную пропускную способность N_c. Если последняя больше или равна заданной пропускной способности $N_з$, т. е.

$$N_c \geqslant N_з, \tag{6}$$

то можно считать, что сеть обладает необходимой надежностью. Если неравенство (6) не удовлетворяется, нужно найти наиболее приемлемые по надежности и стоимости методы улучшения работы наихудшего сечения.

Для этого в ребрах наихудшего сечения выявляются элементы, которые отличаются наибольшим значением произведения $P_i T_i$. Для этих элементов на основании опыта работы назначается несколько вариантов повышения надежности. Для каждого из вариантов рассчитываются новые значения P_i; $\overline{t}_{\text{пер}i}$; N_{ci}; $\overline{t}_{ci}$; T_i для элементов и T_j, N_{yj} для ребер наихудшего сечения. Выбирают тот вариант, который удовлетворяет неравенству (6). Если таких вариантов больше одного, избирают вариант, требующий меньших затрат.

Полагая вариант осуществленным, т. е. внося в характеристику сети полученные новые значения N_{yj}, производят следующий этап расчета: нахождение нового наихудшего решения, определение ненадежных эле-

ментов, назначение вариантов, пересчет исходных данных, выбор вариантов, удовлетворяющих неравенству (6).

Расчет завершается на том этапе, когда наихудшее сечение имеет достаточную условную пропускную способность, т. е.

$$\Sigma N_l \geqslant N_з.$$

В заключение расчета определяются расходы для введения предложенных вариантов и сроки их осуществления.

Различные варианты повышения надежности сетевой системы рассчитываются по приведенной блок-схеме.

УЧЕТ КОРРЕЛЯЦИИ ФАКТОРОВ В МЕТОДЕ ПРИОРИТЕТОВ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

И. Ф. Огороднейчук, А. Я. Куземин, В. И. Мелешко, В. И. Пономарев

Харьков

В настоящее время наблюдается тенденция к поиску принципиально новых идей и методов при решении задач синтеза систем, оптимальных в определенном смысле [2, 4, 9].

Это вызвано тем, что формально строгий метод синтеза, основанный на прямом переборе [10], весьма трудоемок. Последнее связано с тем, что количество вариантов, необходимое при прямом переборе, равно

$$N = \prod_{j=1}^{k} r_j^{m_j}, k = 1, \ldots, m, \qquad (1)$$

где $\sum_{j=1}^{k} m_j = m$ — размерность пространства поиска оптимальной реализации системы;

r_j — число существенных для функционала качества различных значений по j-фактору.

Эвристические методы оптимизации [10] позволяют избежать просмотра большого количества вариантов.

В работах [9—11] предложен и проанализирован так называемый «метод приоритетов». В работе [9] этот метод применяется в задаче оптимизации по оговариваемому там критерию разветвленного телемеханического канала связи. Результаты работы [2] подтвердили правильность данного метода.

В методе приоритетов [9], теории планирования экспериментов [4, 7], факторном анализе [1, 6, 13] есть нечто общее.

Ниже проводится расширение математической модели [9].

1. Предложенное в работе [9] навешивание в m-мерном пространстве приращений функционала качества по факторам на множество возможных реализаций меры $N(<\Delta Q>, \|\Delta^2\|)$ не всегда соответствует реальным поверхностям отклика. Здесь $N(<\Delta Q>, \|\Delta^2\|)$ — мерное нормальное распределение с диагональной матрицей ковариаций $\|\Delta^2\|$ и вектором средних приращений по факторам $<\Delta Q>$.

Обычно существуют группы факторов, которые в силу «однородного» влияния «связаны» через функционал качества. Это является следствием физических особенностей данной системы [10].