$$K_{общ} = \frac{\sum x_1 y_1 + x_2 y_2 + x_3 y_3 + x_5 y_5 + x_6 y_6 + x_7 y_7 + x_8 y_8 + x_9 y_9 + x_{10} y_{10}}{y_1 + y_2 + y_3 + y_5 + y_7 + y_8 + y_9 + y_{10}}.$$

Для среднего персонала рассчитываются следующие коэффициенты (K_4, K_7–K_{10}) по формуле

$$K_{общ} = \frac{x_4 y_4 + x_7 y_7 + x_8 y_8 + x_9 y_9 + x_{10} y_{10}}{y_4 + y_7 + y_8 + y_9 + y_{10}}.$$

Общий алгоритм расчета $K_{общ}$, использующего нечеткую логику, содержит следующие этапы:

- фаззификация;
- вычисление;
- дефаззификация.

Блок фаззификации преобразует четкие величины в нечеткие величины («низкое», «среднее»).

Блок дефаззификации преобразует нечеткие данные в четкую количественную форму.

Для определения «веса» каждого из показателей необходимо их проранжировать. Шкала оценок включает в себя диапазон с интервалом оценок от 1 до 10, ранг 1 приписан максимальной оценке, а ранг 10 – минимальной.

Когда в экспертизе участвует несколько экспертов, необходимо получить усредненную оценку (вес) для каждого индикатора. Для этого нормированные оценки каждого объекта суммируются, а затем полученная сумма делится на число экспертов. Средняя оценка каждого индикатора рассчитывается по формуле:

$$\omega_i = \frac{\sum_{j=1}^{m} \omega_{ij}}{m},$$

где ω_{ij} - вес i–го коэффициента, подсчитанный по оценкам всех экспертов; m – число экспертов.

$$\omega_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^{10} x_{ij}},$$

где x_{ij} – оценка коэффициента i, данная экспертом j.

Предложенные методика дифференцированной оценки качества труда и необходимое математическое обеспечение внедрены в информационную систему Восточно-Казахстанского областного медицинского объединения.

Список литературы

1. Корнев В.А. Модели управления качеством в здравоохранении / В.А. Корнев, В.К. Кулешов, Ю.Б. Приходько, А.Ф. Троеглазов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004.- 180 с.
2. Китаев Н.Н. Групповые экспертные оценки.- М.: Знание,1975.- 58 с.
3. http://www.libertarium.ru/libertarium/68397
4. http://www.mirrabot.com/work/work_56112.html

Получено 28.01.10

УДК 620.9:519.217

ISSN 1561-4212. «ВЕСТНИК ВКГТУ» № 1, 2010.

Б.Б. Утегулов, Н.К. Ердыбаева, Д.Б. Минисов
ПГУ им. С. Торайгырова, г. Павлодар

МАРКОВСКИЙ ПРОЦЕСС КАК АППАРАТ МОДЕЛИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

В настоящее время имеется большое количество информации по вопросам надежности функционирования СЭС. Одним из основных направлений в проблеме надежности СЭС является технико-экономическое обоснование резервирования отдельных ее элементов для обеспечения оптимального уровня надежности. Это направление охватывает большой круг задач, к которым относятся: оптимальное распределение резервов при минимуме затрат, оптимальная очередность введения резервирования, комплексное рассмотрение технологической схемы и схемы электроснабжения, выбор средств противоаварийной автоматики. Сюда же относится исключительно важная проблема определения и экономического обоснования оптимального уровня «живучести» [1, 2], под которой понимается свойство СЭС противостоять крупным возмущениям, не допуская их каскадного развития.

Все концепции, рассматриваемые в работах [3-6], базируются на факте наличия первоначального отказа – крупного возмущения, но при этом авторы определяют последствия не его величиной, а возможностью развития аварии.

Однако основными вопросами, решаемыми в любой теории, являются показатели, критерии оценки и методы исследования, что недостаточно изучено в отношении «живучести». Кроме этого, широкое внедрение информационно-вычислительных систем повышает роль оперативно–диспетчерского персонала (ОДП). Исследование надежности ОДП, и в частности моделирование надежности, является недостаточно изученной областью, а как указано в [7-8] частота отказов по причине ошибок ОДП составляет 10 – 15 %.

Кроме оптимизационных задач надежности, возникает необходимость в определении показателей надежности, вычислении вероятности бесперебойного электроснабжения, обеспечении заданного уровня надежности.

Некоторые из этих задач нашли решение в ряде работ [9, 10], однако в целом эта проблема решена не полностью.

Для заводов–изготовителей элементов СЭС, а также при проектировании и эксплуатации СЭС необходимы прогнозные оценки надежности используемых элементов, соответствующие погодно-климатическим условиям (ПКУ) и условиям эксплуатации того региона, где они будут функционировать. А в условиях со сложными ПКУ, когда метеофакторы резко меняются в течение года, такие оценки должны быть для принципиально различающихся периодов погоды [11, 12].

В стадии разработки находятся исследования по оценке достоверности показателей надежности СЭС с использованием теории чувствительности, статистического моделирования и прямых методов, а также по развитию принципов нормирования показателей надежности электроснабжения.

Недостаточно освещена проблема качества электроснабжения. Впервые эта проблема рассмотрена в [13], но в дальнейшем не получила развития. В то же время объединив надежность электроснабжения и качество электроэнергии, что вызывает отказы, и, введя термин качество электроснабжения, можно получить комплексную оценку надежности [17, 19].

Сравнительно мало работ посвящено надежности основных элементов СЭС – ВЛ, которым принадлежит важная роль в процессе обеспечения надежного электроснабжения. К существенным работам по этой проблеме можно отнести [2].

Недостаточная изученность эксплуатационных характеристик ВЛ, а в особенности эксплуатирующихся в сложных ПКУ, снижает качество проектирования и эксплуатационную надежность СЭС.

Практически отсутствуют работы по исследованию и моделированию надежности СЭС, эксплуатирующихся в сложных ПКУ, специфика у которых предъявляет повышенные требования к надежности СЭС [2].

Таким образом, проблема оптимизации надежности СЭС включает в себя большое число вопросов, которые не могут быть решены однозначно, а существующие мероприятия по повышению надежности СЭС в ряде случаев носят характер неполных и необоснованных рекомендаций, которые не удовлетворяют нуждам практики. Отсутствие единой методологической базы для оценки и исследования надежности СЭС, эксплуатирующихся в сложных ПКУ, определяет необходимость разработки специальных методик, позволяющих решать задачи проектирования и управления СЭС. В этом аспекте решение проблемы повышения надежности СЭС представляется в данный момент наиболее актуальным, так к настоящему времени накоплен значительный опыт повышения надежности СЭС различными способами и средствами.

При исследовании надежности таких сложных систем, как СЭС, чаще всего применяется сочетание различных математических аппаратов и методов.

Метод моделирования имеет особо важное значение для решения задач исследования и оптимизации СЭС, так как позволяет заменить дорогостоящие и невозможные эксперименты на реальных СЭС на математические модели. Основной частью в процессе моделирования является построение цифровой модели, определяемой, согласно [13], как некоторое подобие по отношению к моделируемой СЭС.

Отсюда следуют основные требования, предъявляемые к модели, или противоречивая ситуация, возникающая при оценке надежности СЭС: с одной стороны, желательно получить модель более полную, априорно адекватную процессам отказов и восстановлений в СЭС с учетом большого числа воздействующих факторов, а с другой – модель должна быть по возможности представлена в простой и удобной для реализации форме, обеспеченной достоверной исходной информацией [13].

Исключительное положение в методах моделирования занимает математическое моделирование, гибкость и универсальность, сравнительно невысокая стоимость которого дает возможность в краткие сроки «проигрывать процессы» и тем самым выбирать рациональные решения, что сделало методы математического моделирования незаменимым инструментом в руках специалистов-электриков.

В зависимости от цели задачи находится и оценка ее эффективности. Так, технико-экономическая оценка определяется параметром потока отказов, временем восстановления и удельным ущербом. С другой стороны, эта информация недостаточна для оценки надежности СЭС, эксплуатирующихся в сложных ПКУ, которые при отказовом состоянии являются определяющими, и в этом случае необходимы детальные характеристики погодных условий [11, 17].

В практике моделирования используются два основных направления математического моделирования: статистические (имитационные) и аналитические модели.

При статистическом моделировании отсутствуют ограничения на вид функции распределения случайных величин. Но этот метод обладает и рядом недостатков, наиболее существенными из которых являются: трудоемкость моделирования, заключающаяся в большом числе испытаний и значительных затратах времени, и частный характер реше-

ISSN 1561-4212. «ВЕСТНИК ВКГТУ» № 1, 2010.

ний [6, 11].

Аналитические методы моделирования более наглядно отражают присущие процессу закономерности и более приспособлены для поиска оптимального решения, хотя и описывают процесс с большим количеством допущений. В практике исследования и оптимизации надежности СЭС аналитические методы пользуются предпочтением.

Аналитические методы базируются на основных положениях и теоремах теории вероятности и алгебры логики. Использование их отражено в [3, 9, 10].

Среди аналитических методов выделяют два основных класса: вероятностные методы, отражающие поведение системы на уровне случайных событий, и Марковские модели, описывающие систему на уровне случайных процессов.

Используемая при моделировании (по характеру случайных факторов) вероятностная модель рассматривается как прогрессивная альтернатива обычно практикуемой детерминированной модели при воздействии многочисленных факторов и их сочетаний, недостаточно обеспечивающих требуемый уровень надежности. При оценке надежности СЭС, функционирующих в сложных ПКУ, вероятностный метод, основанный на статистической обработке исходных метеоданных и показателей надежности СЭС с использованием разделения погодных условий, характеризующихся принципиально различными метеофакторами, дает более реалистические результаты.

Как показал анализ, аналитические модели наиболее приемлемы для построения моделей надежности исследуемых СЭС, причем для основных моделей в условиях дефицита исходной информации о надежности элементов СЭС и ограниченных затратах машинного времени, отводимого на выполнение расчетов, наиболее удобно использовать аппарат Марковских процессов (МП). Это наиболее полно удовлетворяет задаче моделирования надежности в том смысле, что позволяет полнее учесть функциональные основные связи элементов СЭС и ее структуру и дает возможность получить приемлемые, с точки зрения надежности, оценки комплекса показателей надежности [11, 12, 14, 15].

Широкое применение МП для описания поведения многих реальных физических систем, к которым относятся СЭС, объясняется тем, что с их помощью удается достаточно адекватно описывать случайные процессы этих систем и для них хорошо разработан математический аппарат, позволяющий решать многие прикладные задачи.

Кроме того, МП являются наиболее изученным классом случайных процессов с дискретным множеством состояний и непрерывным временем, которыми характеризуются СЭС и которыми можно описать эволюцию СЭС при изменении ее надежности, связанную с влиянием МФ, что является одной из задач настоящей работы.

При анализе надежности СЭС их функционирование рассматривается как случайный процесс перехода системы из состояния в состояние, обусловленный отказами и восстановлениями ее составляющих элементов и который может быть достаточно строго описан дискретным МП, а в некоторых задачах и Марковской цепью.

Свойством, определяющим МП, является не зависимость будущего поведения процесса от его прошлого, а зависимость только от настоящего (отсутствие последействия). Таким образом, случайный процесс $X(t)$ называется Марковским, если для любых моментов времени $t_1 < t_2 < t_n$ из отрезка (O, T) условная функция распределения последнего значения $X(t_i)$ при фиксированных значениях $X(t_1)$, $X(t_2)$ …, $X(t_{n-1})$ зависит только от $X(t_{n-1})$, т.е. при заданных X_1, X_2 …, X_n справедливо выражение

$$P\{X(t_n) \le \frac{X_n}{X(t_1)} = X_1 \ldots, X(t_{n\text{-}1}) = X_{n\text{-}1}\} = P\{X(t_n) \le \frac{X_n}{X(t_{n-1})} = X_{n\text{-}1}\}. \quad (1)$$

Если все законы распределения величин, характеризующих СЭС, экспоненциальные, а число состояний системы конечно, то поведение системы удобно описать с помощью однородных МП.

Моделирование процессов отказов и восстановлений МП предусматривает составление, анализ и решение системы дифференциальных уравнений, в которых неизвестными функциями являются вероятности состояний.

Для графа МП с двумя состояниями (рис. 1) система дифференциальных уравнений будет иметь вид:

$$\frac{dp_o(t)}{dt} = -\omega \cdot p_o(t) + \mu \cdot p_1(t)$$ – состояние 0 (работоспособное);

$$\frac{dp_1(t)}{dt} = -\mu \cdot p_1(t) + \omega \cdot p_o(t)$$ – состояние 1 (неработоспособное).

Произведения ωdt и μdt выполняют роль вероятностей перехода соответственно в отказное (неработоспособное) и в работоспособное состояние элемента СЭС.

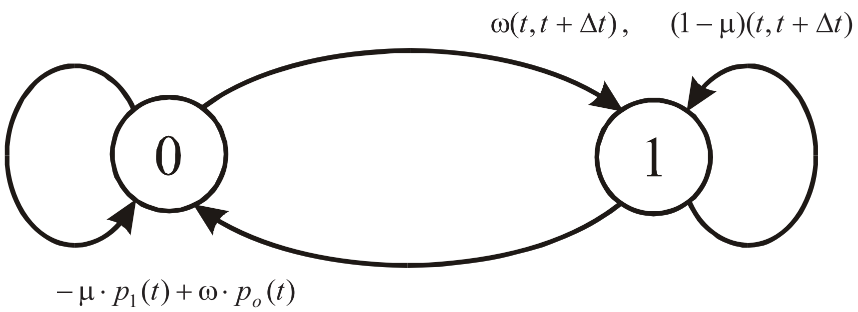

Рисунок 1 – Граф МП с двумя состояниями

На рисунке 2 представлен граф состояний и переходов системы из двух элементов, соответствующей дискретному МП

$$\omega(t, t+\Delta t),\ (1-\mu)(t, t+\Delta t)$$

Вершинам графа соответствуют состояния системы. Каждая связь состояния x_i характеризует интенсивность или вероятность перехода.

К показателям надежности СЭС, моделируемой МП, отнесены:

- параметр потока отказов $\omega(t)$;
- наработка на отказ $T_o(t)$;
- среднее время восстановления $t_B(t)$;
- коэффициент готовности K_r.

ISSN 1561-4212. «ВЕСТНИК ВКГТУ» № 1, 2010.

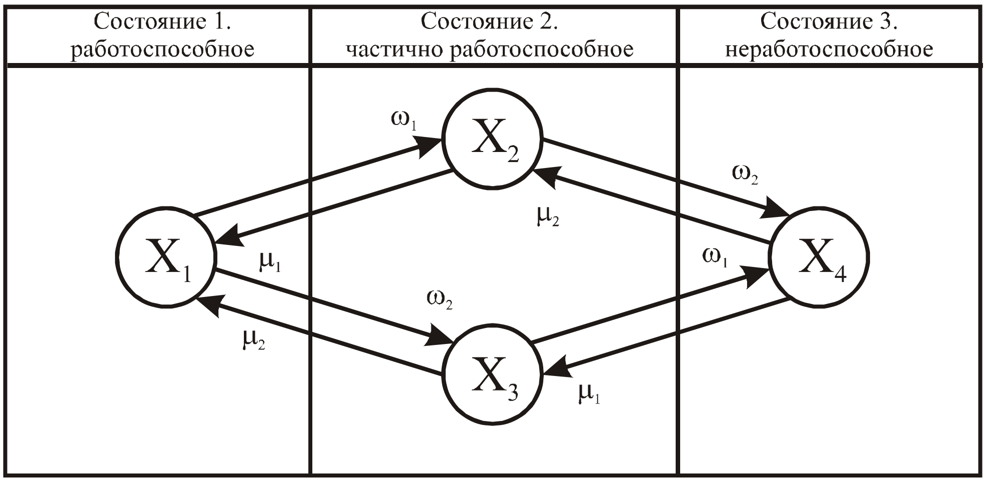

Рисунок 2- Граф состояния и переходов двухэлементной системы: X_1 – оба элемента в работе; X_2 – элемент 1 в работе, элемент 2 отказал; X_3 – элемент 2 в работе, элемент 1 отказал; X_4 – оба элемента отказали

Вероятность переходов между состояниями процесса запишутся как

$$P_{ij}(t, t') = P\{t_i, X_i \ldots, t', X_j\} = P\{X(t) = \frac{X_j}{X(t)} = X_i\}\ . \tag{2}$$

Это условная вероятность того, что система в момент времени будет находиться в состоянии X_j, если в предшествующий момент времени t она находилась в состоянии X_i.

Определение параметров МП во многом зависит от свойств самого процесса (табл. 1).

Таблица 1

Свойства Марковского процесса

Свойства	Характеристика
1. Однородность	Вероятность переходов МП $X(t)$ для всех возможных состояний X_i и X_j не зависит от значений t и t', а зависит от их разности $\tau = t - t'$, т.е. $P_{ij}(t,t') = P_{ij}(\tau)$ для всех $i, j = 1, 2, ..., \text{m}$.
2. Ординарность	За малый промежуток времени τ невозможно более чем одно изменение процесса.
3. Эргодичность	Для вероятностей переходов из состояния X_i в любое состояние X_i, X_j, X существуют пределы.

Поведение технической системы во времени, которая укладывается в рамки ординарного дискретного процесса, отражается системой дифференциальных уравнений Колмогорова-Чепмена для вероятностей реализаций возможных состояний

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = -P_i(t)\sum_{j=1}^{m}\lambda_{ij}(t) + \sum_{i=1}^{m}P_j(t)\cdot\lambda_{ij}(t)\,, \tag{3}$$

где $i, j = 1, m$ – для системы из n элементов $m = 2^n$; $\lambda_{ij}(t)$ – интенсивность перехода из X_i в X_j; $P_i(t) = P(t, \mathrm{X_i})$ – вероятность того, что в момент t процесс будет находиться в состоянии X_i; $P_i(t)$ – соответственно в X_j.

Вероятности $P_i(t)$ должны удовлетворять условию нормировки

$$\sum_{j=1}^{m} P_i(t) = 1 \,. \tag{4}$$

Интенсивности связаны с переходными вероятностями следующим образом:

$$\lambda_{ij}(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{P_{ij}(t, t' + \Delta t)}{\Delta t}, \tag{5}$$

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{m} \lambda_{ij}(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{1 - P_{ij}(t, t' + \Delta t)}{\Delta t}. \tag{6}$$

В однородном МП интенсивности переходов не зависят от времени $\lambda_{ij}(t) = \lambda_{ij}$. В этом случае система уравнений (7) примет вид

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = -P_i(t) \cdot \lambda_{ij} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{m} P_i(t) \cdot \lambda_{ij} \,, \tag{7}$$

или в матричной форме

$$\left|\dot{P}(t)\right| = A \left|P(t)\right|,$$

где $P(t)$ – вектор-строка из элементов $\frac{dP_1(t)}{dt}$, $\frac{dP_2(t)}{dt}$;

А – матрица интенсивностей

$$A = \begin{vmatrix} \lambda_{11} & \lambda_{12} & \dots & \lambda_{1m} \\ \lambda_{21} & \lambda_{22} & \dots & \lambda_{2m} \\ \lambda_{m1} & \lambda_{m2} & \dots & \lambda_{\min} \end{vmatrix}.$$

Диагональные элементы матрицы А определены в виде

$$\lambda_{ij} = -\sum_{i \neq j} \lambda_{ij} \,. \tag{8}$$

Сумма элементов в каждой строке этой матрицы равна нулю.

Если время работы до отказа и время восстановления элементов системы подчиняются экспоненциальному закону, то естественно обеспечивается отсутствие последствия в описании процесса и его однородность.

Система уравнений, соответствующая графу однородного МП (рис. 2), будет иметь вид

$$\begin{aligned} dP_1(t) &= -P_1(t) \cdot (\lambda_{12} + \lambda_{13}) + P_2(t) \cdot \lambda_{21} + P_3(t) \cdot \lambda_{31}, \\ dP_2(t) &= -P_2(t) \cdot (\lambda_{21} + \lambda_{24}) + P_1(t) \cdot \lambda_{12} + P_4(t) \cdot \lambda_{42}, \\ dP_3(t) &= -P_3(t) \cdot (\lambda_{31} + \lambda_{34}) + P_1(t) \cdot \lambda_{31} + P_4(t) \cdot \lambda_{43}, \\ dP_4(t) &= -P_4(t) \cdot (\lambda_{42} + \lambda_{43}) + P_2(t) \cdot \lambda_{24} + P_3(t) \cdot \lambda_{34}. \end{aligned} \tag{9}$$

Для графа (рис. 3) пространства состояний системы с двумя независимыми элементами матрица интенсивностей переходов А запишется в виде, представленном в табл. 2.

Таблица 2

Матрица интенсивностей переходов А

	1	2	3	4
1	$-(\omega_a+\omega_в)$	ω_a	$\omega_в$	0
2	μ_a	$-(\omega_в+\mu_a)$	0	$\omega_в$
3	$\mu_в$	0	$-(\omega_a+\mu_в)$	λ_a
4	0	$\mu_в$	μ_a	$-(\mu_a+\mu_в)$

Матрица записана с учетом, что поток отказов элементов СЭС принят простейшим, а время восстановления – подчиняющимся экспоненциальному распределению. Поэтому $\omega_i=\lambda$.

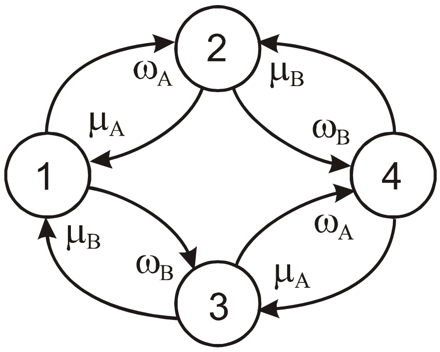

Рисунок 3 - Граф пространства состояний системы с двумя независимыми элементами: 1) состояние 1 – элементы «А» и «В» работают; 2) состояние 2 – элемент «А» отказал, элемент «В» работает; 3) состояние 3 – элемент «В» отказал, элемент «А» работает; 4) состояние 4 – элемент «А» и «В» отказали

$$\begin{gathered}-(\omega_a+\omega_в)\cdot P_1+\mu_a\cdot P_2+\mu_в\cdot P_3=0, \quad \omega_a P_1-(\omega_в+\mu_a)\cdot P_2+\mu_в\cdot P_4=0,\\ \omega_в P_1-(\omega_a+\mu_в)\cdot P_3+\mu_a\cdot P_4=0, \quad \omega_в P_1-\omega_a\cdot P_2-(\mu_a+\mu_в)\cdot P_3=0.\end{gathered} \tag{10}$$

Так как уравнения (10) независимы, то одно из них можно опустить и вместо него добавить уравнение $\sum P_i=1$, т.е.

$$P_1+P_2+P_3+P_4=1.$$

Решение системы уравнений (10) с учетом преобразований записывается в виде

$$P_1=\frac{\mu_a\cdot\mu_в}{Д}, P_2=\frac{\lambda_a\cdot\mu_в}{Д}, P_3=\frac{\lambda_в\cdot\mu_a}{Д}, P_4=\frac{\lambda_a\cdot\lambda_в}{Д}, Д=(\lambda_a+\mu_a)(\lambda_в+\mu_в). \tag{11}$$

Среднюю продолжительность пребывания процесса в каждом состоянии определим как

$$T_1=\frac{1}{\omega_a+\omega_в};\ \ T_2=\frac{1}{\mu_a+\mu_в}. \tag{12}$$

Частота вхождения в каждое состояние φ_i определяется из условия:

$$\varphi_i=P_i\cdot\sum_{j\neq i}\omega_{ij},$$

$$\left.\begin{aligned}
\varphi_1 &= \frac{\mu_a \cdot \mu_в \cdot (\omega_a + \omega_в)}{Д} \\
\varphi_2 &= \frac{\omega_a \cdot \mu_в \cdot (\omega_a + \mu_a)}{Д} \\
\varphi_3 &= \frac{\omega_в \cdot \mu_a \cdot (\omega_a + \mu_в)}{Д} \\
\varphi_4 &= \frac{\omega_a \cdot \omega_в \cdot (\mu_a + \mu_в)}{Д}
\end{aligned}\right\}. \quad (13)$$

По итогам вышеописанного можно заключить, что вопрос оптимизации надежности СЭС является актуальным и решение задач надежности требует дальнейшего исследования. Анализ методов моделирования при исследовании надежности СЭС показал, что при решении задач исследования и оптимизации СЭС аналитические методы моделирования более наглядно отражают присущие процессу функционирования СЭС в сложных ПКУ закономерности, причем наиболее приемлемым является аппарат МП, позволяющий заменить дорогостоящие и невозможные эксперименты на реальных СЭС на математические модели.

Список литературы:

1. Зейлидзон Е.Д. О характере развития особо тяжелых каскадных аварий // Докл. на III Всесоюз. науч.-техн. совещ. по устойчивости и надежности энергосистем СССР. – Л., 1973. - С. 49 – 55.16.
2. Китушин В.Г. К вопросу о формализации понятия живучести электроэнергетических систем / В.Г. Китушин, Б.Б. Кобец // Методические вопросы исследования больших систем энергетики. – Иркутск: СЭИ СО АН СССР, 1980. - Вып. 20. - С. 15 – 23.17.
3. Розанов М.Н. Надежность электроэнергетических систем. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 200 с.
4. Веников В.А. Исследование надежности систем электроснабжения // Электричество. - 1988. - № 3. – С. 1 - 7.15.
5. Руденко Ю.Н. Надежность систем энергетики /Ю.Н. Руденко, П.А. Ушаков. – М.: Наука, 1986. – 250 с.
6. Фокин Ю.А. Вероятностно-статистические методы в расчетах систем электроснабжения. – М.: Энергоатомиздат, 1985. - 240 с.
7. Дьяков А.Ф. Надежная работа персонала в энергетике. – М.: Изд-во МЭИ, 1991.
8. Дьяков А.Ф. Поддержание надежности работы оперативно-диспетчерского персонала энергосистем. Электрические станции / А.Ф. Дьяков, А.В. Меркурьев. - 1997. - № 12. - С. 17 – 20.
9. Китушин В.Г. Надежность энергетических систем. – М.: Высшая школа, 1984.
10. Гук Ю.Б. Анализ надежности электроэнергетических установок. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 224 с.: ил. – Надежность и качество.12.
11. Эндрени Дж. Моделирование при расчетах надежности в электроэнергетических системах. - Пер. с анг. / Под ред. Ю.И. Руденко. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 336 с.
12. Яшков В.А. Надежность функционирования систем электроснабжения / В.А. Яшков, Г.Г. Трофимов, Д.Н. Турганов. - Алматы: Гылым, 2001. – С.50.
13. Веников В.А. Теория подобия и моделирования применительно к задачам электроэнергетики. - 2-е изд. – М.: Высшая школа, 1976. – С.95.
14. Турганов Д.Н. Марковские модели надежности СЭС нефтегазовых комплексов / Д.Н. Турганов, В.А. Яшков // Материалы 1 Междунар. науч.-техн. конф. «Современные проблемы геофизики, геологии, освоения, переработки и использования углеводородного сырья Казахстана». – Атырау, 2000. - С. 227 – 229.106.
15. Яшков В.А. Расчет надежности СЭС установок бурения с использованием Марковских моделей /В.А. Яшков, Д.Н. Турганов, А.И. Исмагулова // Проблемы нефтегазового комплекса Казахстана: Материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Атырау, 2001. - Т.1. - С. 398 – 401.107.

Получено 4.02.10