ния, призванного повысить эффективность управления электрическими сетями.

Внедрение новых ИТ технологий, развитие систем телемеханики призвано в итоге решить главную и основную функцию Южных электрических сетей перед своими потребителями – гарантированное энергоснабжение.

ТАМИНДАРОВ Равиль Тимиргалиевич, ведущий программист Южных электрических сетей АК «Омскэнерго».
ШАХОВ Владимир Григорьевич, кандидат технических наук, профессор кафедры АиСУ ОмГУПС.
ЯВОРСКИЙ Александр Николаевич, главный инженер Южных электрических сетей АК «Омскэнерго».

В. К. ФЕДОРОВ
В. И. СУРИКОВ
П. В. РЫСЕВ

Омский государственный технический университет

ЭНТРОПИЙНЫЙ АНАЛИЗ РЕЖИМОВ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 621.317

ЦЕЛЬЮ СТАТЬИ ЯВЛЯЕТСЯ АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ НЭЭС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОНЯТИЯ ЭНТРОПИИ.

Введение

Вероятностным называется такое решение, которое может быть представлено плотностью вероятностей переменных состояния и из которого следует вывод о функциональной устойчивости или неустойчивости нелинейной электроэнергетической системы (НЭЭС). По определению НЭЭС функционально устойчива, если при заданной сколь угодно малой области α в пространстве переменных состояния можно указать такую область $\beta(\alpha)$ в пространстве параметров НЭЭС, что при нахождении вектора параметров в любой точке области $\beta(\alpha)$ вектор переменных состояния не выйдет за пределы области α, в противном случае НЭЭС будет функционально неустойчива.

Поддержание переменных состояния в допустимых пределах представляет актуальную задачу оперативного управления НЭЭС, так как выход переменных состояния за допустимые пределы может перерасти в аварийный режим.

1. Энтропия НЭЭС

Существующая теория указывает на то, что анализ должен исходить из свойств первой δH и второй $\delta^2 H$ вариаций энтропии Н. Вероятность Р возникновения флуктуаций переменных состояния выражается формулой $P \sim \exp(\Delta H)$, где ΔH - отклонение энтропии от своего максимального значения. Представляя $\Delta H = \delta H + \frac{1}{2}\cdot\delta^2 H$, получим $P \sim \exp(\delta H + \frac{1}{2}\cdot\delta^2 H)$.

Поэтому анализ НЭЭС должен опираться на свойства первой и второй вариаций энтропии.

Будем полагать, что НЭЭС описывается обыкновенными дифференциальными уравнениями вида

$$\frac{dx_i}{dt} + f_i\cdot(x_1,...,x_i,...,x_n,t) = \xi_i, i = 1,...,n, \tag{1}$$

где $x(t) = (x_1,...,x_i,...,x_n,t)^T$ - отклонения переменных состояния от установившихся значений, Т – знак транспонирования, $\xi = (\xi_1,...,\xi_i,...,\xi_n,t)^T$ - случайные функции времени с матрицей спектральных плотностей $S = |S_{it}|$, $S_{it} = const$, f_i - характеристики НЭЭС, относительно которых в дальнейшем используются различные предположения, t – текущее время.

Относительно $x(t) = (x_1,...,x_i,...,x_n,t)$ принимается, что это процессы с ограниченной дисперсией $D = (D_1,...,D_i,...,D_n) < M$. Такое предположение полностью соответствует режимам функционирования реальных НЭЭС.

Текущая плотность вероятности P(x,t) в пространстве переменных состояния x(t) подчиняется уравнению диффузии вероятностей

$$\frac{\partial P}{\partial t} - \sum_{i=1}^{n}\frac{\partial}{\partial x_i}(P\cdot f_i) - \frac{1}{2}\cdot\sum_{i,j=1}^{n} S_{ij}\cdot\frac{\partial^2 P}{\partial x_i\cdot\partial y_j} = 0, \tag{2}$$

причем величины Р, $P\cdot f_i$, $\frac{\partial P}{\partial x_i}$ исчезают на бесконечности:

если $x \to \pm\infty$, то $P \to 0, P\cdot f_i \to 0, \frac{\partial P}{\partial x_i} \to 0$, i = 1,...,n.

В условиях неопределенности и случайных взаимодействий фактором, определяющим тенденции изменений переменных состояния, является энтропия Н, зависящая от состояния НЭЭС.

$$H = -\int ... \int_{-\infty}^{\infty} P(x,t)\cdot\ln[P(t)]dx_1...dx_n. \tag{3}$$

Критерий абсолютной функциональной устойчивости, полученный в виде

$$\frac{\partial H}{\partial R_s} = 0,\ \frac{\partial r_{ij}}{\partial R_s} = 0, \tag{4}$$

утверждает: если приращения энтропии Н при изменении параметра НЭЭС R_s не происходит, иначе говоря, если корреляционный момент r_{ij} между i-м и j-м переменными состояния как функции от R_s имеет локальный максимум или вообще не зависит от R_s, то НЭЭС абсолютно функционально устойчива по R_s, S = 1,...,m.

Соотношение (4) указывает на то, что энтропия Н как функция от R_s имеет максимальное значение, поскольку $\frac{\partial H}{\partial R_s} = 0$. Для реальных НЭЭС трудно ожидать точного выполнения равенства $H(R_s) = H_{max}$, поэтому наиболее целесообразным критерием функциональной устойчивости представляется такой, который обеспечит функционирование НЭЭС с энтропией Н, стремящейся к максимальному значению $H_{max} : H(R_s) \to H_{max}$. Скорость изменения энтропии Н при этом должна быть минимальной, чтобы с течением времени значение энтропии Н не удалялось от максимального значения H_{max}.

Следовательно, указанные условия ($H \to H_{max}$, $\frac{\partial H}{\partial t} \to V_{min}$) существования критерия функциональной устойчивости являются прямыми следствиями критерия абсолютной функциональной устойчивости (4).

Условие $H \to H_{max}$ с необходимостью приводит к первому критерию функциональной устойчивости: первая вариация энтропии δH равна нулю, а вторая вариация $\delta^2 H$ меньше нуля:

$$\delta H \to 0,\ \delta^2 H < 0. \quad (5)$$

Условие $\frac{\partial H}{\partial t} \to V_{min}$ совместно с $\delta^2 H < 0$ приводит ко второму критерию функциональной устойчивости: скорость изменения во времени $\delta^2 H$ больше или равна нулю, в противном случае:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\delta^2 H) \ge 0. \quad (6)$$

Выражения (5) и (6) представляют собой необходимое и достаточное условие функциональной устойчивости. Вторая вариация энтропии указывает на нарастание или убывание энтропии и тем самым указывает на функциональную устойчивость или неустойчивость НЭЭС.

Переход между функциональной устойчивостью и функциональной неустойчивостью связан с нарушением неравенства (6). Вне предела допустимых значений параметра R_s неравенство $\frac{\partial}{\partial t}(\delta^2 H) \ge 0$ не выполняется, флуктуации переменных состояния растут. В рамках линейных уравнений (1) следует ожидать, что флуктуации нарастают бесконечно. В реальности флуктуации будут ограничены под влиянием нелинейных членов, которыми пренебрегли при линеаризации уравнений (1).

Представляется интересным определить класс распределений вероятностей P(x,t), которые обеспечивают функциональную устойчивость НЭЭС, с использованием критериев $\delta H \to 0$, $\delta^2 H < 0$, $\frac{\partial}{\partial t}(\delta^2 H) \ge 0$. Предположим, что после некоторого начального возмущения НЭЭС эволюционирует от произвольного распределения вероятностей P(x,t) к стационарному (асимптотическому) распределению вероятностей P(x). Опираясь на определение энтропии, получим, что в этом случае возникающее приращение энтропии

$$H = -\int \ldots \int_{-\infty}^{\infty} P(x,t) \cdot \ln\left[\frac{P(x,t)}{P(x)}\right] dx_1 \ldots dx_n, \quad (7)$$

С использованием методов вариационного исчисления находятся первая δH и вторая $\delta^2 H$ вариации энтропии Н:

$$\delta H \approx -\int \ldots \int_{-\infty}^{\infty} \left[(\ln \frac{P(x,t)}{P(x)} + 1) \cdot P'(x,t) - \frac{P(x,t)}{P(x)} \cdot P'(x) \right] dx_1 \ldots dx_n, \quad (8)$$

$$\begin{aligned}\delta^2 H &= -\frac{1}{2} \cdot \int \ldots \int_{-\infty}^{\infty} k^2 \cdot \left[\frac{1}{P(x,t)} + \frac{P(x,t)}{P^2(x)} - \frac{2}{P(x)} \right] dx_1 \ldots dx_n = \\ &= -\frac{k^2}{2} \cdot \int \ldots \int_{-\infty}^{\infty} \frac{(P(x,t) - P(x))^2}{P(x,t) \cdot P^2(x)} dx_1 \ldots dx_n\end{aligned}, \quad (9)$$

где k – коэффициент, характеризующий σ- окрестность первого порядка для P(x,t). Вторая вариация энтропии получается в виде знакопеременной квадратичной формы.

Для определения функционала $\frac{\partial}{\partial t}(\delta^2 H)$ используется возможность перестановочности операций $\frac{\partial}{\partial t}$ и δ^2.

Скорость изменения энтропии Н равна

$$\frac{\partial H}{\partial t} = -\int \ldots \int_{-\infty}^{\infty} \left[\frac{\partial P(x,t)}{\partial t} \cdot \ln \frac{P(x,t)}{P(x)} + \frac{\partial P(x,t)}{\partial x} \right] dx_1 \ldots dx_n, \quad (10)$$

Подставляя в (10) выражение для $\frac{\partial P}{\partial t}$ из уравнения (2) и интегрируя по частям, получаем

$$\frac{\partial H}{\partial t} = -\int \ldots \int_{-\infty}^{\infty} \sum_i \frac{\partial f_i}{\partial x_i} \cdot P(x,t) dx_1 \ldots dx_n +$$

$$+\frac{1}{2} \cdot \sum_{i,j} S_{ij} \cdot \int \ldots \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\partial \ln P(x,t)}{\partial x_i} \cdot \frac{\partial \ln P(x,t)}{\partial x_j} \cdot P(x,t) dx_1 \ldots dx_n, \quad (11)$$

Применяя к (11) операцию δ^2, находим

$$\begin{aligned}\frac{\partial}{\partial t}(\delta^2 H) &= \sum_{i,j} S_{ij} \cdot \int \ldots \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{P^3(x,t)} \cdot \frac{\partial P(x,t)}{\partial x_i} \cdot \frac{\partial P(x,t)}{\partial x_j} dx_1 \ldots dx_n = \\ &= \sum_{i,j} S_{ij} \cdot M\left[\frac{1}{P^4(x,t)} \cdot \frac{\partial P(x,t)}{\partial x_i} \cdot \frac{\partial P(x,t)}{\partial x_j} \right]\end{aligned}, \quad (12)$$

где М – операция математического ожидания.

Для отклонений переменных состояния x(t), имеющих ограниченные дисперсии, решение P(x,t) уравнения диффузии вероятностей (2) обладает $\delta H \to 0$, $\delta^2 H < 0$, $\frac{\partial}{\partial t}(\delta^2 H) \ge 0$ тогда, когда является гауссовым распределением вероятностей.

$$P(x,t) \to P(x) = A \cdot \exp(-\frac{x^2}{2D}), \quad (13)$$

где A,D – константы.

Таким образом, начинает выясняться в количественной форме, что кроме детерминированных уравнений состояния необходимо знать класс распределения вероятностей переменных состояния, при которых НЭЭС остается функционально устойчивой или, наоборот, становится функционально неустойчивой. Принадлежность к тому или иному классу распределений вероятности переменных состояния будет определять последующую эволюцию НЭЭС, отбирая одну «траекторию движения» из некоторого множества потенциально возможных «траекторий».

Предельное множество не представляет собой простую траекторию, а есть некоторая поверхность.

2. Информация НЭЭС

Состояние НЭЭС можно измерить с точностью, определяемой разрешающей способностью ξ. Это означает, что если наблюдаемое состояние НЭЭС представляется точкой x, то ее фактическое состояние находится в некоторой точке множества $A_\xi(x)$. Предположим, что имеются два наблюдателя, которые производят измерение состояния НЭЭС в два разных момента времени. Пусть наблюдатель 1 установил, что состояние НЭЭС в момент времени t_1 соответствует точке x_1, а наблюдатель 2 установил, что состояние НЭЭС в момент времени $t_2 > t_1$ соответствует точке x_2. Спрашивается, кто из них больше знает о состоянии НЭЭС – наблюдатель 1 или наблюдатель 2?

Наблюдатель 1 знает, что в момент времени t_1 точка, соответствующая состоянию НЭЭС, располагается внутри области $A_\xi(x)$, откуда следует, что точка, соответствующая состоянию НЭЭС в момент времени t_2, должна располагаться внутри области $F_{t_2-t_1}(A_\xi(x_1))$. Наблюдатель 2 знает, что в момент времени t_2 точка, соответствующая состоянию НЭЭС, располагается внутри области $A_\xi(x_2)$.

Предположим, что НЭЭС представляет собой автономную систему со сжимающим потоком F_t. Поток F_t

называется сжимающим, если для любого $x_0 \neq x_0'$ и любого t>0 выполняется неравенство $\|F_t(x_0) - F_t(x_0')\| < \|x_0 - x_0'\|$, и растягивающим в противном случае: $\|F_t(x_0) - F_t(x_0')\| > \|x_0 - x_0'\|$.

Поскольку отображение F_t является сжимающим, область $F_{t_2-t_1}(A_\xi(x_1))$ есть строгое собственное подмножество множества $A_\xi(x_2)$, вследствие чего наблюдатель 1 знает в момент времени t_1 состояние НЭЭС более точно. В связи с тем, что наблюдатель 1 производит измерение раньше наблюдателя 2, обладает большим объемом информации о НЭЭС, можно говорить, что в сжимающей НЭЭС происходит разрушение информации (увеличение энтропии).

В противоположном случае растягивающего потока наблюдатель, производящий измерение позднее, т.е. наблюдатель 2, больше знает о состоянии НЭЭС, поскольку подмножество $A_\xi(x_2)$ содержится в множестве $F_{t_2-t_1}(A_\xi(x_1))$. При этом увеличение времени ожидания перед наблюдением состояния НЭЭС приводит к увеличению степени информированности о состоянии НЭЭС, другими словами, НЭЭС с расширяющим потоком F_t может рассматриваться как создающая информацию.

Итак, для сжимающих НЭЭС более точный результат получается, если не наблюдать состояние НЭЭС в момент времени t_2, а производить его предсказание в момент t_2 на основе состояния x_1. При этом чем больше разность $t_2 - t_1$, тем выше точность такого предсказания. Следовательно, в случае сжимающей НЭЭС значимость начального условия для предсказания последующих состояний НЭЭС возрастает со временем. С другой стороны, в случае расширяющей НЭЭС значимость начального условия для предсказания последующего состояния НЭЭС со временем падает.

Поскольку по определению траектории хаотической НЭЭС должны располагаться в ограниченной области, то отсюда следует, что произвольная хаотическая НЭЭС должна характеризоваться сжатием в одних направлениях и растяжением в других, причем сжатие должно превосходить растяжение. В диссипативных НЭЭС происходит сжатие объема различных областей в пространстве состояний . Для количественного описания растяжения и сжатия, происходящих в НЭЭС, используются показатели Ляпунова.

3. Случайность и детерминированность

Изложим концептуальные соображения относительно того, что в конечном счете ограничивает предсказуемость состояния НЭЭС – флуктуации, неточные начальные данные или дефекты математической модели.

Понимание ограниченных возможностей предсказания, и не только в электротехнике, связано с исследованием сложных движений типа гомоклинических структур, погрешностей в начальных условиях и с современным качественно новым представлением о локальной неустойчивости поведения большинства сложных систем.

При использовании критериев оптимальности и надежности для хаотических режимов НЭЭС получен результат, из которого следует, что можно заменить оптимальное решение x° некоторой областью S в n – мерном пространстве и считать, что любое решение x из S является оптимальным. Границы области S находятся как

$$\sigma^2(\xi) \leq \frac{2\xi}{\left(\dfrac{\partial^2 F_b}{\partial x^2} - \dfrac{\partial^2 F_a}{\partial x^2}\right)_{x=x^\circ}}, \qquad (14)$$

где ξ - совокупный фактор неопределенности, равный сумме частных факторов неопределенности; F_a, F_b - условные целевые функции, определяющие чувствительность оптимальных решений к изменению параметров.

Если $\lambda_1 > 0$ - наибольший из показателей, то для среднего квадрата ξ^2 имеем

$$\xi^2 \sim (\xi_1^2 + \xi_2^2 + \xi_3^2) \cdot e^{\lambda_1 t}, \qquad (15)$$

где ξ_1, ξ_2, ξ_3 характеризуют вклад трех основных факторов, определяющих качество предсказуемости. Из этого следует, что горизонт предсказуемости, достигаемый при точных начальных данных $\xi_2^2 << \xi_1^2$ и на основе удовлетворительной модели $\xi_3^2 << \xi_1^2$, определяется лишь флуктуация переменных состояния. Поэтому наибольшая степень предсказуемости получается тогда, когда действуют только флуктуации переменных состояния.

Увеличение целевой энтропии приводит к возрастанию ξ, и границ области S. Это означает, что увеличивающаяся неопределенность в достижении оптимального качества предсказуемости делает лишенной смысла замену x° на x_s°. Таким образом, любая реальная НЭЭС не может быть абсолютно и исчерпывающе детализирована в пространстве состояний x в силу существования конечной области S. Иначе говоря, формулы (14), (15) устанавливают связь между случайностью и неполнотой любого набора гипотез в рамках теории хаотических режимов (аналог теоремы Гёделе).

Отсюда следует, что если режимы НЭЭС не могут быть детализированы в пространстве x в исчерпывающем смысле, то описание их в пространстве состояний неизбежно приобретает вероятностный смысл и характеризуется плотностью вероятности P(x,t). В связи с этим понимание реальных режимов НЭЭС должно быть расширено до включения в него наряду с реализовавшимися режимами и потенциально возможных режимов. Все присущие НЭЭС потенциально возможные режимы и их показатели качества должны быть взаимосогласованными, что математически выражается условием нормировки плотности вероятности P(x,t). Перераспределение потенциальных возможностей (режимов) и отображающих их вероятностей в зависимости от реализовавшихся режимов носит объективный характер и математически выражается формулой Бейеса.

Возможность численного расчета области неопределенности S позволяет рационально и объективно сделать выбор вероятностного или детерминированного подхода при анализе режимов НЭЭС: если область S меньше критической величины, то необходимо применять вероятностный подход.

Таким образом, получено обоснование того, что соотношение неопределенностей (14) выражает общий принцип – принцип дополнительности (комплементарности) вероятностного и детерминированного подходов к анализу проблемы качества предсказуемости.

Используемая математическая модель оперирует уравнением диффузии вероятностей переменных состояния с набором начальных и граничных условий

$$\frac{\partial P(x,t)}{\partial t} = Y\left[\frac{\partial^2 P(x,t)}{\partial t^2}, \frac{\partial P(x,t)}{\partial t}, P(x,t)\right], \qquad (16)$$

где Y – оператор математической модели, P(x,t) – плотность вероятности переменных состояния.

Неопределенность модельного оператора Y при вычислении переменных состояния НЭЭС выступает на том же уровне, что и различные флуктуационные факторы. Степень детерминированности переменных состояния может возрасти как за счет улучшения математической модели (16) при неизменных флуктуациях переменных состояния, так и за счет включения одного из флуктуационных факторов в расширенную математическую модель. Случайность переменных состояния НЭЭС по отношению к одной модели не противоречит тому, что те же переменные состояния окажутся детерминированными по отношению к другой, более удачной математической модели. В этом отношении принятая концепция указывает на то, что граница предсказуемость – непредсказуемость подвижна и зависит от способности выбрать удачно математическую модель.

В условиях неопределенности и случайных взаимодействий фактором, определяющим тенденции изменений переменных состояния НЭЭС, является энтропия Н, зависящая от состояния НЭЭС, а точнее говоря, ее вторая вариация $\delta^2 H$.

Увеличение энтропии при эволюции переменных состояния к стационарному состоянию оказывается возможным из-за того, что заданные параметры НЭЭС достаточны лишь для определения стационарного состояния, а выбор начального распределения P(x,0) остается произвольным.

При произвольном изменении параметров НЭЭС стационарные решения уравнения (16) притягиваются к трем типам устойчивых структур плотностей вероятностей переменных состояния: пик - $P_1(x)$, кратер со сходящимися стенками - $P_2(x)$, плато - $P_3(x)$. Точки бифуркации, соответствующие переходу $P_1(x) \Leftrightarrow P_2(x) \Leftrightarrow P_3(x)$, определяются критическими значениями обобщенного параметра λ_0.

Структуре $P_1(x)$ соответствует функциональная устойчивость НЭЭС (вероятность Р нахождения показателей качества функционирования в допустимых пределах высока и может только возрастать). $P_2(x)$ соответствует мягкая потеря функциональной устойчивости НЭЭС (Р циклически меняется: то она высока, то мала). $P_3(x)$ соответствует жесткая потеря функциональной устойчивости НЭЭС (нахождение показателей качества функционирования в допустимых пределах и вне их равновероятно).

Хотя каждая из перечисленных структур $P_1(x)$, $P_2(x)$, $P_3(x)$ сопряжена с качественным изменением режима НЭЭС, между ними имеется существенное различие. При мягкой потере функциональной устойчивости НЭЭС $P_1(x) \to P_2(x)$ среднеквадратичное отклонение переменных состояния увеличивается медленно и остается пропорциональным $\sqrt{\lambda_0}$. При жесткой потере функциональной устойчивости $P_1(x) \to P_3(x)$, $P_2(x) \to P_3(x)$ среднеквадратичное отклонение переменных состояния обладает наибольшей непредсказуемостью, оно может достигать предельной величины, после чего наступает режим, не имеющий ничего общего с исходным режимом.

Таким образом, энтропия является основной мерой устойчивости системы. Устойчивость НЭЭС определяется изменением энтропии, вернее, ее первой δH и второй $\delta^2 H$ вариациями.

Литература

1. Кравцов Ю.А. Случайность, детерминированность, предсказуемость // УФН.- 1989.-№ 5.-С. 92-192.
2. Красовский А.А. Фазовое пространство и статистическая теория динамических систем. – М.: Наука, 1974. – 230 с.
3. Федоров В.К. Функциональная устойчивость и чувствительность электроэнергетических систем // Изв. СО АН СССР Техн. науки. – 1984. – 1.-№ 4-С. 120-124.
4. Федоров В.К. Вторая вариация энтропии в статистическом анализе функциональной устойчивости электроэнергетических систем // Изв. вузов СССР. Энергетика. – 1989. - № 2. – С. 19-23.
5. Федоров В.К. Случайность и детерминированность в теории функциональной устойчивости электроэнергетических систем // Изв. вузов СССР. Энергетика. – 1990. - № 12. – С. 8-14.
6. Федоров В.К. Формирование устойчивых структур плотности вероятностей отклонений частоты в электроэнергетических системах // Изв. СО АН СССР. Техн. науки . – 1988.-вып.4. - № 15. – С. 39-46.
7. Федоров В.К. Инвариантность оптимальных решений при анализе угрожающих аварией режимов энергетических систем // Изв. вузов СССР. Энергетика. – 1985. - № 3. – С. 17-21.
8. Федоров В.К Статистический анализ функциональной устойчивости изолированных электроэнергосистем // Изв. вузов СССР. - Энергетика. – 1987.- № 4. – С. 8-12.

ФЕДОРОВ Владимир Кузьмич, доктор технических наук, профессор кафедры электроснабжения промышленных предприятий.

СУРИКОВ Валерий Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой физики.

РЫСЕВ Павел Валерьевич, студент 5-го курса электротехнического факультета.

В. К. ФЕДОРОВ
В. Н. ГОРЮНОВ
В. И. СУРИКОВ
П. В. РЫСЕВ

Омский государственный технический университет

УДК 621.317

СЛУЧАЙНЫЕ И ХАОТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

В СТАТЬЕ ПРЕСЛЕДУЕТСЯ ЦЕЛЬ ОТРАЗИТЬ ПРОСТЫМИ МАТЕМАТИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К АНАЛИЗУ СЛУЧАЙНЫХ И ХАОТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ.

Детерминистские законы, некогда бывшие наиболее приемлемыми научными законами, сейчас предстают перед нами как чрезмерные упрощения. В классическом представлении считают, что если бы в некоторый момент времени состояние НЭЭС было известно с достаточной точностью, то, в принципе, будущее поведение НЭЭС можно было бы предсказать, а прошлое – восстановить. Такого рода теоретическая схема указывает, что в определенном смысле настоящее содержит в себе прошлое и будущее.

В классическом понимании выражение «вскрыть причинно-следственные связи» означает «понять динамику процессов», происходящих в НЭЭС. При этом предполагается, что причина и следствие соизмеримы. Для устойчивых и нейтральных процессов это имеет место. В неустойчивых процессах ситуация иная: очень «малая» причина приводит к следствию, которое по масштабу несоизмеримо с причиной. Обычно в таких случаях говорят, что причиной явилась неустойчивость, а не малое начальное воздействие. Но тогда происходит