

## НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНИМОСТИ ТЕОРИИ БИФУРКАЦИЙ В ЗАДАЧЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АВАРИЙ В ЭЛЕКТРОСЕТЕВОМ КОМПЛЕКСЕ

*Коновалов А.А., Дулесов А.С.*

*Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, Абакан, Россия*

**Ключевые слова:** теория бифуркаций, надёжность технических систем, теория надёжности, технологии анализа надёжности, информационная неопределённость, принятие решений.

**Аннотация.** Затронута проблематика неэффективности стандартных методов прогнозирования для достижения квазиоптимального значения погрешности прогнозирования в задаче повышения надёжности электросетевого комплекса. Рассмотрена теория бифуркаций, понятие каскада бифуркаций. Представлена оценка по вопросу применимости теории бифуркаций в задаче анализа и прогнозирования аварий в электросетевом комплексе, создании аттракторов динамической системы с учётом всех динамических переменных системы.

## SOME ASPECTS OF THE APPLICABILITY OF THE THEORY OF BIFURCATIONS IN THE PROBLEM OF FORECASTING ACCIDENTS IN THE ELECTRIC GRID COMPLEX

*Konovalov A.A., Dulesov A.S.*

*Katanov Khakass State University, Abakan, Russia*

**Keywords:** bifurcation theory, reliability of technical systems, reliability theory, reliability analysis technologies, information uncertainty, decision-making.

**Abstract.** The problem of the inapplicability of standard forecasting methods to achieve a quasi-optimal value of the forecasting error in the task of improving the reliability of the electric grid complex is touched upon. The theory of bifurcations and the concept of a cascade of bifurcations are considered. An assessment is made on the applicability of the theory of bifurcations in the problem of analyzing and predicting accidents in the electric grid complex, creating attractors of a dynamic system considering all dynamic variables of the system.

**Введение.** В современных реалиях электроэнергетика занимает значительную роль являясь драйвером развития экономики, а её комплексное развитие обеспечивает социально-экономическое развитие страны. Для данной отрасли одним из ключевых критериев успеха является надёжное функционирование технических систем на каждом из этапов генерации, распределения и передачи электроэнергии до конечного потребителя. Рассматривая такое свойство как надёжность в электроэнергетике, приоритетом становится рассмотрение способности технической системы (или группы систем) сохранять значения параметров в рамках заданных предельных значений, а также выполнять задачи бесперебойного и надёжного электроснабжения потребителей на протяжении всей стадии эксплуатации. Повышение надёжности – актуальная задача повышения энергетической безопасности государства в целом.

Поскольку процесс эксплуатации сложной и дорогостоящей технической системы длительный, явно просматриваются процессы ухудшения (деградации) ее технического состояния под воздействием внешних и внутренних факторов. Здесь важно выявлять закономерности в изменениях этих факторов, что достаточно сложно осуществить без участия процессов обработки данных и информации. Востребован комплексный подход к выполнению анализа причин отказов оборудования с целью повышения эффективности управления процессом эксплуатации. Анализ причин отказов с применением современных информационных технологий является приоритетным, зарекомендовавший себя в общей оценке состояния надёжности и выявлении «слабых звеньев» системы.

Далее предложим к рассмотрению возможности применения методов и методик глубокого изучения свойств надёжности, связанных с необходимостью выполнения анализа вероятностной сущности отказов с выходом на дальнейшее прогнозирование.

**Проблематика использования стандартных методов прогнозирования.** Они основываются на интерполяции временных рядов, математическом ожидании отказов и авторегрессии проинтегрированного скользящего среднего значения погрешности, достигающей в среднем 16% и выше [1]. Такие отклонения обусловлены отсутствием учёта связей большинства переменных с таким событием как авария. Для достижения квазиоптимального значения погрешности при прогнозировании, необходимо создание модели надёжности, учитывающей максимальное количество факторов, влияние которых имеет определяющий характер.

Создавая такого рода модель характерно использование дифференциальных уравнений, которые в анализе надёжности вызывают дополнительные сложности в применении. В этой связи возникает задача получения полноценного описания системы без решения вышеуказанного уравнения. Для данной задачи не исключено построение фазового портрета динамической системы (группы систем), что позволяет получить достаточное описание взаимосвязанных величин, от которых зависит устойчивое состояние системы. Может быть вполне оправданным построение аттрактора: подмножества фазового пространства динамической системы, что позволит получить представление о процессах данной системы. На наш взгляд теория бифуркаций следует считать одним из перспективных направлений науки, применение которой позволит получить качественную картину из множества вариаций состояний системы (аттракторов) и дополнить решение задачи прогнозирования аварийности.

**Бифуркационные процессы в задаче предикативной аналитики.** Постараемся связать бифуркационный процесс с надёжностью технической системы. В динамике система, находясь в устойчивом состоянии получает импульс, выводящий ее на уровень неустойчивого положения (например, отказ в работе) в некоторой точке. Вследствие этого она продолжает развитие не по старой траектории. Бифуркация в надёжности – это катастрофический

(аномальный) скачок в смене состояния оборудования или системы в целом. Меняя «управляющую» переменную (например, аварийное восстановление объекта), система достигает порога устойчивости. Это критическое значение называется точкой бифуркации; в точке бифуркации у системы появляется «выбор», в котором неизбежно присутствует элемент случайности с невозможностью предсказать выбор траектории эволюции системы [2].

До точки бифуркации система имеет один путь развития, ее поведение полностью предсказуемо. В определённой точке бифуркации, система вместо одного устойчивого состояния приобретает два новых устойчивых состояния, и далее этот процесс, как правило, повторяется.

Очевидным является то, что случайные воздействия непреднамеренного характера в точке бифуркации могут подтолкнуть систему на иной путь развития. После выбора одного из возможных путей (траектории развития), действует однозначный детерминизм (например, выполнение ремонтных работ) – развитие системы предсказуемо до следующей точки бифуркации. Так случайность и необходимость дополняют друг друга.

Иногда в состояниях, далеких от равновесия, очень слабые флуктуации или внешние возмущения могут усиливаться до огромных, скачкообразным образом разрушающих всю прежнюю структуру системы и переводящих ее в иное состояние. Катастрофическое изменение электросетевой или энергетической структуры получило название «каскадное развитие аварии».

В теории бифуркаций, существует понятие «критичность», согласно которой системы с большим числом взаимодействующих элементов спонтанно эволюционируют к критическому состоянию, когда малое воздействие может привести к катастрофе. Сложные технические системы могут разрушиться не только от мощного удара, но и от малого события, запускающего цепную реакцию, каскад бифуркаций [3].

Возникновение в системы труднопредсказуемых событий, описывается каскадом бифуркаций, следующих одна за другой. Каскад бифуркаций ведет последовательно к появлению выбора между двумя решениями, затем четырьмя и т.д. Система начинает колебаться в хаотическом, турбулентном режиме последовательного удвоения возможных значений.

Описание процесса каскада бифуркаций (каскадного развития аварий в электроэнергетике или веерных отключений электросетевого комплекса) связано с рассмотрением случайных событий. Последние относятся к процессам выявления нарушений режима работы как отдельных элементов (подсистем), так и энергосистемы в целом, что может приводить к тяжелым последствиям для регионов в целом [4].

В постановке вопроса о возможностях применимости теории бифуркаций в прогнозировании аварийности электросетевого комплекса можно отметить следующее:

– получение аттрактора(ов) динамической системы с определением всех необходимых параметров позволит получить качественную картину поведения системы;

– построение и рассмотрение устойчивой области состояния системы с участием вероятностных признаков;

– в качестве инструмента обработки данных возможно использование распределение вероятностей, что согласуется с теорией бифуркаций.

**Заключение.** Рассматривая вопросы о применимости теории бифуркаций в анализе и прогнозировании аварий электросетевого комплекса, установлен факт целесообразности применения данной теории для выявления закономерностей и максимального учёта данных при построении бифуркационной модели системы. Решение данной задачи позволит получать результаты в виде качественной информации о состоянии надёжности объектов с последующим принятием своевременных и достоверных управленческих решений как по отдельным элементам, так для системы в целом.

### Список литературы

1. Белов С.И., Петров П.С. Прогнозирование аварийных отключений в электрических сетях 35-220 кВ // Вестник ФГОУВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2017. – Т. 80, №4. – С. 77-81.
2. Арнольд В.И., Афраймович В.С., Ильяшенко Ю.С., Шильников Л.П. Теория бифуркаций. Том 5. – М.: ВИНТИ, 1986. – 284 с.
3. Музыка О.А. Бифуркации в природе и обществе: естественнонаучный и социосинергетический аспект // Современные наукоемкие технологии. – 2011. – Т. 1, №1. – С. 87-91.
4. Чулюкова М.В. Системная авария в ОЭС Востока 1 Августа 2017: Хронология и анализ событий // Вестник АмГУ. – 2018. – Т. 1, №81. – С. 98-101.

### References

1. Belov S.I., Petrov P.S. Forecasting of emergency shutdowns in electric networks of 35-220 kV // Bulletin of FGOUVPO "Moscow State Agroengineering University named after V.P. Goryachkin". 2017, vol. 80, no. 4, pp. 77-81.
2. Arnold V.I., Afraimovich V.S., Ilyashenko Y.S., Shilnikov L.P. Theory of bifurcations. Vol. 5. – M.: VINITI, 1986. – 284 p.
3. Music O.A. Bifurcations in nature and society: natural science and sociosynergetic aspect // Modern high-tech technologies. 2011, vol. 1, no. 1, pp. 87-91.
4. Chulyukova M.V. System accident in the ECO of the East on August 1, 2017: Chronology and analysis of events // Bulletin of the AmSU. 2018, vol. 1, no. 81, pp. 98-101.

Коновалов Андрей Александрович – аспирант	Konovалov Andrey Alexandrovich – postgraduate student
Дулесов Александр Сергеевич – доктор технических наук, профессор	Dulesov Aleksander Sergeevich – doctor of technical sciences, professor
Andrey_konovалov96@mail.ru	

*Received 20.03.2024*