

Н.Т. Ниязов КГТУ им. И.Раззакова niiazov54@mail.ru

*Г.Н.Ниязова Институт машиноведения и автоматизации НАН КР
gulmira-n.86@mail.ru*

КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА ЭНЕРГООБЪЕКТОВ СЛОЖНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ: СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ

В статье приведен анализ современного состояния и выявлены проблемы контроля и диагностики сложных электроэнергетических систем и энергообъектов. Рассмотрены характерные особенности сложных энергообъектов, находящихся в нештатных режимах с точки зрения диагностики их состояния.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, энергообъект, нештатный режим, диагностика, контроль технического состояния

Введение. Системные исследования проблемы эффективного контроля и диагностики состояния сложного электротехнического оборудования и энергообъектов (ЭО) являются на современном уровне развития техники, чрезвычайно актуальными.

В настоящее время жизнь и развитие цивилизованного общества непосредственно зависит от устойчивого функционирования современных сложных электро-энергетических систем (ЭЭС). Последние в целом – открытые, большие, нелинейные, многомерные и многосвязные, представляют собой комплексы различных подсистем, связанных между собой процессами тесного динамического взаимодействия и интенсивного обмена информацией, веществом и энергией [1]. Важной особенностью ЭЭС является одновременность процессов производства, преобразования, передачи, распределения и потребления электрической энергии, многообразия режимов, быстрота протекания переходных процессов, а также функционирования в условиях воздействия внешних и внутренних возмущений, так что при определенных условиях в ЭЭС возникают критические и хаотические режимы [2,3].

Значительный рост мощности, усложнение структуры энергосистем, сложность вновь создаваемого оборудования и при этом наличия большого парка физически и морально устаревшего оборудования, эксплуатация его в условиях напряженного режима функционирования выдвигают новые, более качественные, требования к методам контроля и диагностики перспективным. Современные методы контроля и диагностики должны быть созданы на основе результатов постижения глубинной алгоритмической структурной организации ЭЭС как открытой системы, проникновения в природу сложных процессов износа и старения, объяснения формы и изменчивости состояний, выявления спектра качественно различных типов поведения [4].

Важность решения указанных проблем подтверждается участвовавшими случаями технических аварий с катастрофическими последствиями для самого ЭО ЭЭС, окружающей среды и обслуживающего персонала [5]. Причинами большинства случаев являются элементарная, плохо или вообще непригодность

эксплуатируемого устаревшего и вновь создаваемого оборудования к диагностическому контролю, отсутствие средств контроля технического состояния [6].

В структуре современных ЭЭС значительное место занимают агрегаты электрических станций, выполняющие функцию непосредственной генерации электроэнергии, в состав которых входят турбина и СГ, к важнейшим динамическим свойствам которых относятся: динамичность, нелинейность, многомерность, многосвязность, наличие взаимодействующих подсистем [3].

Генераторы, как объект контроля, требуют особого внимания. Разнообразие воздействующих на них нагрузок – механических, тепловых и электрических (особенно для машин предельных мощностей), требуют всестороннего «наблюдения» с помощью различного рода датчиков, а также специальных программ обследования [7].

Современная ситуация в электроэнергетике Кыргызской Республики (КР) требует повышенного внимания к контролю состояния и определению текущей работоспособности ЭО электростанций и сетей. Большинство гидроагрегатов в Кыргызстане, выпущенные заводами бывшего СССР и введенные в 50-70-х гг. двадцатого столетия, проработали более 30 лет, так что изношенность основных ресурсов электроэнергетики КР составляет примерно 70%.

Вероятность появления дефектов и неисправностей у такого оборудования достаточно большая. Темпы старения ЭО гидроэлектростанций (ГЭС) зарубежных стран примерно одинаковы. В большинстве стран СНГ, в том числе и в КР, имеются планы модернизации действующих ГЭС (реконструкции Токтогульской, Уч-Курганской, Ат-Башинской ГЭС), что потребовало развития соответствующих программ обследования состояния оборудования, методов и средств контроля и диагностики состояния.

В настоящее время ремонтное диагностирование является практически единственным средством выявления дефектов генерирующего оборудования в отечественной электроэнергетике. Это определило сложившуюся структуру ремонтно-технического обслуживания с четкой регламентацией сроков и видов плановых ремонтов.

Как известно, контроль состояния гидроагрегатов традиционно производят в основном визуально, (осмотры, ревизии оборудования через определенный промежуток времени) или с помощью автоматизированных систем мониторинга, осуществляющими сбор необходимых параметров режима работы [8].

Увеличение объема информации о состоянии узлов генератора, получаемой от датчиков, требование к быстрому анализу этой информации и решение сложной постановки диагноза привели к широкому внедрению автоматизированных систем контроля и диагностики.

Одним из важнейших аспектов внедрения автоматизированных систем контроля и диагностики является социальный. Применение «интеллектуальных» экспертных систем облегчает труд эксплуатационного персонала, повышает эффективность управления режимом и достоверность оценки состояния генератора, устраняет многие ошибки персонала..

В работе [6] предложена экспертная система контроля состояния вертикальных гидрогенераторов (постановки диагноза с базами знаний) в виде пакета прикладной

программы «Автоматизированная система обработки Базы данных каскада Токтогульских ГЭС», разработанной на базе «Microsoft Access» с целью автоматизации ведения эксплуатационных журналов гидроагрегатов ГЭС; оперативной обработки введенной информации, а также создания архива «истории жизни» гидрогенераторов [9].

При разработке экспертной системы в качестве базовой были приняты структурные элементы экспертной системы (рис.1) [10].

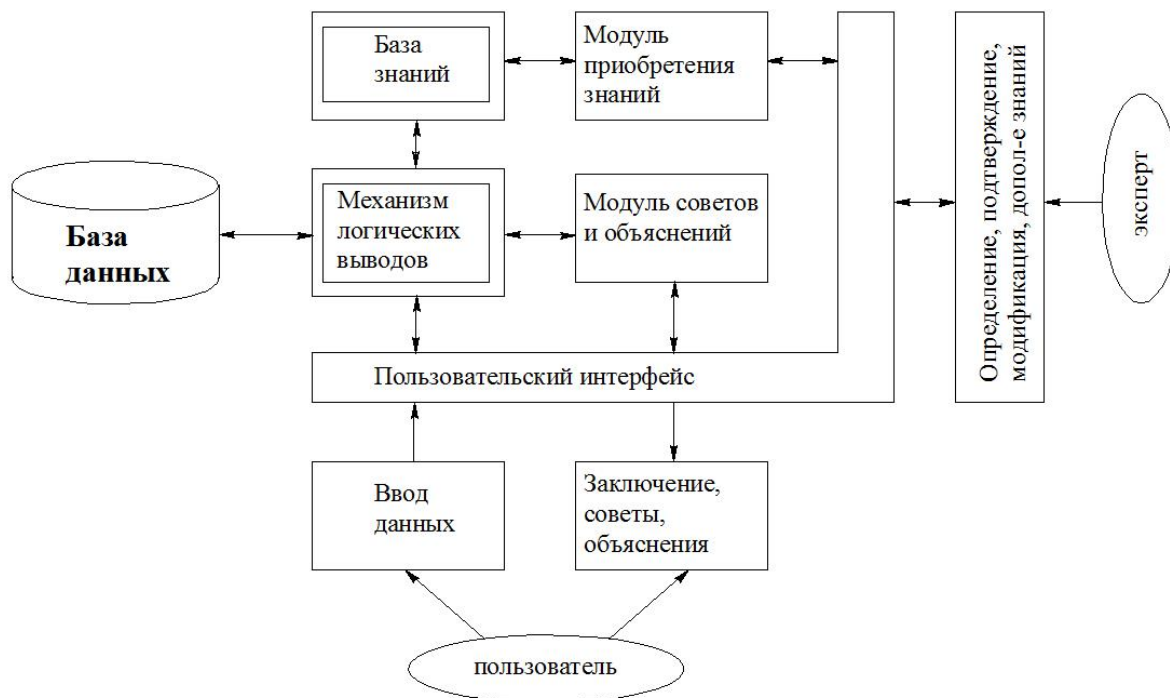


Рисунок 1 – Структурные элементы экспертной системы

На основе анализа зарубежного и Российского опыта проектирования прикладных экспертных систем (ЭС) для задач диагностики оборудования электростанций предложена следующая концепция построения автоматизированной экспертной системы для оценки эксплуатационного состояния энергообъекта (АЭСЭС) (рис.2). Изложенная концепция построения АЭСЭС положена нами в основу разработки экспертной системы на примере контроля состояния гидроагрегата Токтогульской ГЭС и составления семантической схемы отношений концептов элементов гидрогенератора [6].

Практика эксплуатации различных ЭО показывает, что при отсутствии специальных средств поддержки функционирования и контроля основная часть времени восстановления затрачивается на поиск и локализацию отказов, увеличивая тем самым затраты на ремонт и обслуживание. С другой стороны, используемые традиционные методы и средства функционального контроля и диагностики ЭО не всегда удовлетворяют современным требованиям к надежности и обеспечению безопасности эксплуатации критического оборудования. Поэтому на современном этапе автоматизация процедур технического диагностирования является важнейшим средством повышения качества технического обслуживания и эксплуатации ЭО ЭЭС.

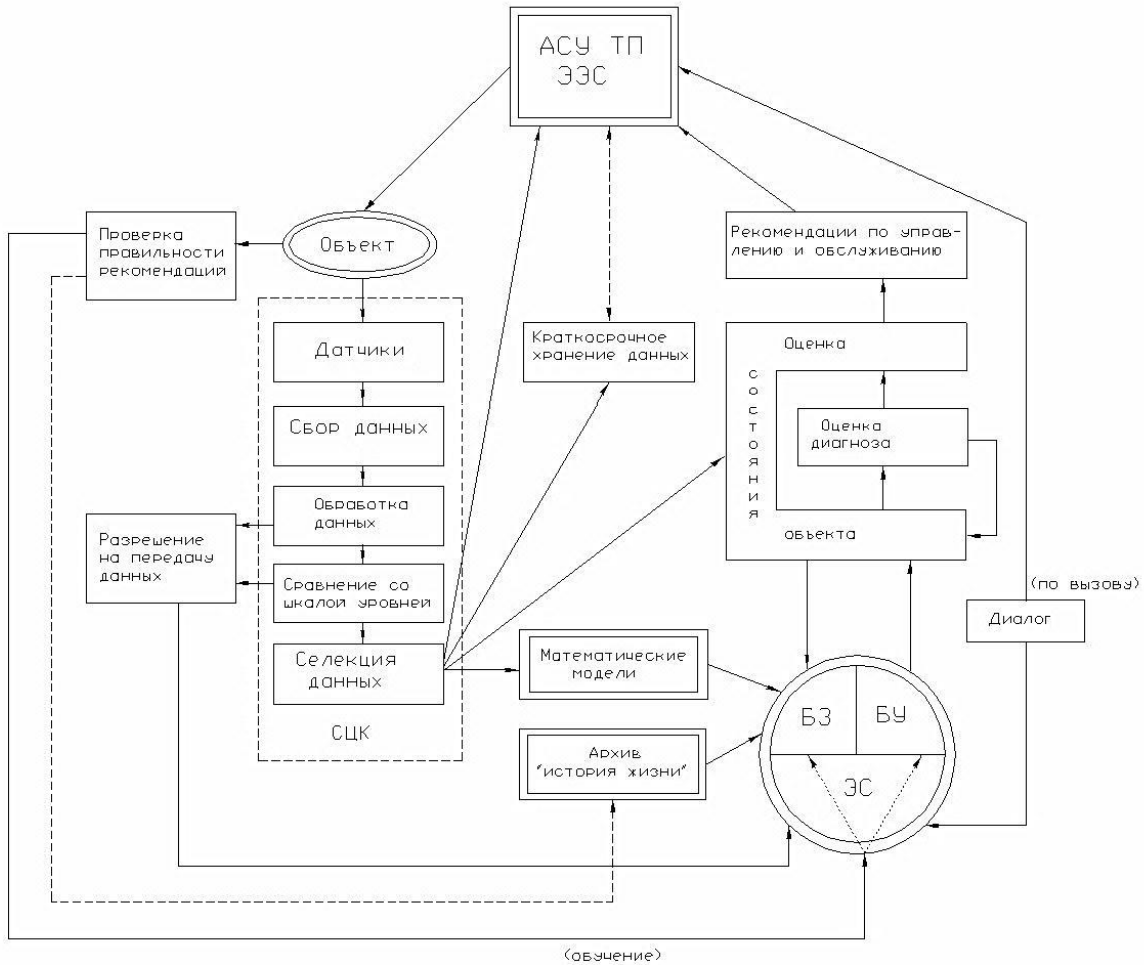


Рисунок 2 – Структурная схема автоматизированной экспертной системы оценки эксплуатационного состояния энергообъекта (ЭС – экспертная система, СЦК – система централизованного контроля, БЗ – база знаний, БУ – база умений)

В настоящее время приоритетными являются вопросы разработки эффективных и надежных средств и методов контроля технического состояния в процессе эксплуатации ЭО без разборочно-сборочных работ, нарушающих приработку узлов и сокращающих срок службы электрических машин и механизмов [4]. Основное назначение подобных средств непрерывного и периодического контроля состоит в сокращении времени на поиск неисправностей (или потенциально неисправных) элементов, в своевременном прогнозировании ухудшения состояния оборудования и предотвращении аварийных ситуаций. С точки зрения проблемы диагностики все технические системы можно подразделить на два класса [4]:

1. Объекты и системы, описываемые, как правило, линейными моделями, функционирующие в установившихся, стационарных режимах и характеризующиеся предсказуемым поведением. Для оценки работоспособности таких систем разработано множество методов и подходов [11–15].
2. Объекты и системы, функционирующие в напряженных, нештатных режимах и описываемые, как правило, нелинейными уравнениями, их состояние заметно

зависит от вида конечных флуктуаций и возмущений, действующих на систему [16].

Для технических систем именно в нештатных режимах решение вопросов диагностики к настоящему времени остается во многом открытым и малоизученными, и поэтому имеет особую значимость [4].

Пользуясь терминологией теории синергетики [17], можно отметить, что ЭО в нештатных режимах можно рассматривать как системы, состояние которых относится к области сильного неравновесия, характеризуемой тем, что потоки вещества, энергии и информации являются сложными функциями сил (флуктуаций, возмущений, управляющих воздействий на систему со стороны внешней среды).

Важный вывод синергетики состоит в том, что в открытых системах, обладающих свойством однонаправленности во времени на макро и микроскопических уровнях, механизмом, который вызывает неравновесные состояния, является необратимость протекания процессов [18]. В реальных технических системах, помимо обратимых процессов - обменов энергией, веществом и информацией, протекают также и необратимые процессы из-за тепловых потерь, трения, старения и износа деталей и узлов системы, т.е. происходит процесс производства энтропии внутри самих систем [19].

Полное приращение энтропии в системе можно представить в виде суммы двух составляющих, имеющих разный физический смысл [20]:

$$dS = d_e S + d_i S, \quad (1)$$

где $d_e S$ – отражает процесс обмена энергией системы с внешним миром и в принципе обратима, что соответствует закону сохранения энергии;

$d_i S > 0$ – всегда положительна и характеризует необратимые процессы, протекающие внутри системы (свидетельствует о производстве энтропии, причем поток энтропии протекает только в одном направлении), при $d_i S = 0$ в системе отсутствуют необратимые процессы.

Энтропия системы (1) может оставаться постоянной, что для ЭО означает период нормального функционирования, при котором он устойчив, управляем и его состояния предсказуемы. При возрастании энтропия $d_i S > 0$ характеризует самопроизвольную эволюцию системы. В природных системах $d_i S > 0$ свидетельствует не столько о необратимых изменениях, о неуклонном развитии и стремлении к более высокому уровню упорядоченности, однако для технических систем это может означать только деградацию – постепенное старение (износ) или мгновенное разрушение [4].

Состояние ЭО характеризуется значениями его выходных контролируемых параметров, для которых, как правило, известны номинальные и критические значения. Отклонения, дрейф параметров от их номинальных значений, связывают с постепенным старением ЭО. При достижении критического значения в количественной эволюции системы происходит качественный скачок – точка разветвления эволюционной линии, которая получила название бифуркации [17, 21]. Бифуркация – это одномоментное состояние, когда система, потеряв устойчивость, полностью теряет память и управляемость, и ее последующее состояние оказывается принципиально непредсказуемым, поскольку определяется только теми случайными факторами,

которые в момент бифуркации действуют на систему. Иными словами, целью диагностики ЭО в нештатных режимах является определение деградирующих узлов или подсистем до момента бифуркации, приводящего к возникновению неработоспособности [4].

Системные исследования сложных ЭО как открытых динамических систем позволяют выявлять на глубинном уровне их особенности. Рассмотрение вопросов диагностики сложных ЭО, находящихся в нештатных режимах, представляется наиболее важным для обеспечения эффективности и безопасности их функционирования. Для сложной ЭЭС и ЭО в нештатном режиме, с точки зрения диагностики их состояния, можно отметить следующие характерные особенности [4]:

1. Современные многофункциональные и иерархически по своей структуре ЭЭС и ОЭ имеют, как правило, большое количество подсистем, блоков и элементов (состояние каждого из которых отображается выходным контролируемым параметром), отображаемых случайными процессами с выбросами значений за пределы допусковых зон. Это приводит к тому, что для обеспечения заданной полноты контроля объекта требуется непрерывный мониторинг множества параметров.
2. Исследование характеристик сложных ЭЭС и ЭО в различных режимах (нормальный, утяжеленный, аварийный и послеаварийный) выявляет наличие множественной корреляции определяющих параметров подсистем, блоков, элементов, при этом значимость параметров для диагностики может быть различной.
3. Эксплуатация современных ЭО ЭЭС в напряженном режиме его функционирования обуславливает возникновение нештатных ситуаций, характеризующихся малоинерционностью состояний ЭО, т.е. ЭО имеет тенденцию к быстрой смене своего состояния в зависимости от внешних возмущений (сброс или наброс мощности, короткие замыкания, лавина частоты и напряжения, перетоки мощности на межсистемных связях ЭЭС, параметрические возмущения, самораскачивание, самовозбуждение), случайных (изменение окружающей среды, помехи) или целенаправленных воздействий (управление) и происходящих внутренних процессов (приработки узлов, старения, износа деталей и т.д.). Малоинерционность ЭО приводит к тому, что на вход системы диагностики поступает критически малое количество информации, на основании которой необходимо принимать адекватные решения по управлению в реальном масштабе времени.
4. Для сложных ЭО в нештатных режимах размыкание обратных связей или подача тестовых воздействий, приводящих к неправильному функционированию, недопустимы, в связи с чем необходимо обеспечение непрерывности контроля и диагностики, оперативности получения информации о функционировании ЭО без разборочно-сборочных работ.
5. Деградиционные изменения ЭО, нарушающие регулярность его рабочих процессов, а также случайные воздействия внешней среды неизбежно приводят к нестационарности колебательных процессов, характерной особенностью которых является большое время корреляции, превосходящее время ресурса того или иного элемента или ЭО в целом. Процесс изменения параметров содержит медленную составляющую (дрейф) и скачкообразные отклонения (выбросы параметров за пределы допусковых зон). Дрейф параметров обусловлен старением элементов или

ЭО в целом и характеризует скорость нарастания повреждений. Быстрые скачкообразные изменения параметров вызываются различного рода поломками, обрывами, замыканиями и т.п., которые, в свою очередь, обусловлены конструктивными и технологическими дефектами ЭО. Дрейф параметров способствует возникновению скачков параметров (например, накопление усталостных деформаций в конструкции уменьшает пределы ее прочности). Таким образом информация о выбросах значений контролируемых параметров за пределы допусковых зон может быть использована в качестве эмпирических данных для диагностики ЭО.

6. Исследование ЭО как объекта наблюдения производится при существенной неопределенности, обусловленной недостатком априорной информации, отсутствием или неполнотой знаний о структуре ЭО, происходящих в нем процессах, а также наличием большого количества неконтролируемых, трудно учитываемых или неизвестных факторов внешней среды.
7. Сложность, многоцелевой характер функционирования ЭО требуют много-модельного статистического подхода к оценке состояния и основных характеристик работоспособности, а также обеспечения адаптивности системы диагностики к фактическому состоянию ЭО.

Заключение. Диагностика сложных ЭО в нештатных режимах предполагает необходимость учета *малоинерционности*, наличия большого количества *взаимокоррелированных* контролируемых параметров различной диагностической значимости, *иерархичности* структуры, *многорежимность*, значительной *неопределенности* поведения ЭО и *эмпирических измерений случайных процессов* с выбросами значений контролируемых параметров за пределы допусковых зон, а также учета *случайного* характера воздействий на него со стороны *внешней среды*.

Литература

- 1 Бакасова А.Б., Ниязов Н.Т., Ниязова Г.Н. Проблемы эффективного управления современными и перспективными электроэнергетическими системами // Проблемы автоматизации и управления. – Бишкек, 2010. – №2. – С. 132 – 135.
- 2 Бакасова А.Б., Ниязов Н.Т. О синергетическом подходе в управлении частотой и напряжением сложной электроэнергетической системы // Изв. Кырг. гос. техн. ун-та. – 2013. – № 29. – С. 42–46.
- 3 Бакасова А.Б. Синтез сложных систем с нелинейной динамикой и самоорганизацией // – Бишкек: Изд-во «Инсанат», 2014. – 424с.
- 4 Гузик В.Ф., Кидалов В.И., Самойленко А.П. Статистическая диагностика неравновесных объектов // – СПб: Судостроение, 2009. – 304 с., ил.
- 5 Смолоник, С.В. Роль «человеческого фактора» в развитии крупных системных аварий // ELEKTROENERGETIKA. – 2008. – Vol.1, №1.– P.16-19.
- 6 Ниязов Н.Т. Разработка экспертной системы контроля состояния вертикальных гидрогенераторов // канд. диссерт. – Бишкек, 2006. – 184с.
- 7 Александров А.Е., Гуштин Е.В., Элькинд Ю.М. О системе технологического контроля мощных гидрогенераторов // Электрические станции. – 1981. – №6.

- 8 Алексеев Б.А. Определение состояния (диагностика) крупных гидрогенераторов // – М.: Изд-во НЦ «ЭНАС», – 1998. – 144 с.
- 9 Апышев Д.А., Ниязов Н.Т., Сатаркулов К.А. Автоматизированная система обработки базы данных каскада Токтогульских ГЭС. Версия 1.0. «Гидроагрегаты» // «Государственное агентство по интеллектуальной собственности при правительстве Кыргызской Республики (Кыргызпатент). Центр коллективного управления имущественными правами авторов и правообладателей». Решение №7 от 05.01.2006
- 10 Апышев Д.А., Ниязов Н.Т., Такырбашев Б.К., Узагалиев З.А. Экспертная система в электроэнергетике: необходимость, структура, состояние вопроса // Вестник КТУ, – Бишкек: – 2002. – №5. – С. 85–90.
- 11 Биргер И.А. Техническая диагностика. – М.: Машиностроение, 1978. – 240с.
- 12 Ключев В.В., Пархоменко П.П., Абрамчук В.Е. и др. Технические средства диагностирования: Справочник. – М.: Машиностроение, 1989. – 671с.
- 13 Основы технической диагностики. Модели объектов, методы и алгоритмы диагноза / Под ред. П.П. Пархоменко. – М.: Энергия, 1976. – 464с.
- 14 Сердаков А.С. Автоматический контроль и техническая диагностика. – Киев: Техніка, 1971. – 244с.
- 15 Асанов А.К., Ниязов Н.Т., Батырбеков Б.К. Диагностика заземляющих устройств на объектах электроэнергетики Кыргызстана // Проблемы автоматизации и управления. – Бишкек, 2015. – №1(28). – С. 131 – 135.
- 16 Fault diagnosis in dynamic systems. Theory and applications / E. by R. Patton, P. Frank, R. Clark. Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1989.
- 17 Пригожин И.Р., Стенгерс И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой // –М.: Прогресс, – 1986. – 432с.
- 18 Колесников А.А. Синергетические методы управления сложными системами: теория системного синтеза. 2-е издание// – М.: КомКнига. – 2012. – 240 с.
- 19 Колесников А.А. Синергетическая теория управления // М.: Энергоатомиздат, 1994. – 344 с.
- 20 Современная прикладная теория управления // под ред. А.А. Колесникова. – Таганрог: Изд-во ТРТУ. – 2000. – Ч II: Синергетический подход в теории управления. – 559 с.
- 21 Николис Г., Пригожин И.Р. Самоорганизация в неравновесных системах. – М. – 1979. – 422с.