

А.В. Рудакова, Н.В. Сарафанникова

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФРАКТАЛЬНЫХ СВОЙСТВ БОЛЬШИХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Аннотация. В статье анализируется возможность применения фрактальных свойств больших распределенных систем для унификации моделей на разных уровнях иерархической системы управления. Предлагается использовать непрерывные модели в виде поверхности запаса ресурса, на основе которой можно оценивать состояние системы. Рассмотрены метод определения времени, отведенного на стабилизацию ситуации в системе, и возможные мероприятия при управлении системой в критическом режиме.

Ключевые слова. Распределенные производственные комплексы, фрактальные свойства, непрерывная модель, время стабилизации, иерархическая система управления, поверхность запаса ресурса, режим функционирования

Постановка проблемы

Современные производственные системы представляют собой сложные, многосвязные, пространственно распределенные иерархические объекты, функционирующие в условиях переменности их структуры, параметров и режимов работы при многочисленных внешних и внутренних возмущениях как систематического, так и случайного характера. Это определяет сложность задач оперативного управления современными промышленными комплексами в различных режимах функционирования, в которых все чаще наблюдаются сбои различного характера.

Анализ публикаций

В результате эволюции производственных систем на сегодняшний день возник новый класс объектов. Это большие системы, структура которых постоянно развивается и усложняется. Примером таких систем являются энергетические системы, системы связи и телекоммуникаций, информационные системы и другие. Особенностью боль-

ших систем является их склонность к глобальным катастрофам, что подтверждается участившимися авариями в энергосистемах, транспортных системах, системах связи, материального снабжения.

Основная особенность больших распределенных производственных комплексов, к которым относятся системы транспортировки разнообразных ресурсов, заключается в неразрывной связи отдельных элементов, в единстве технологических процессов, которые нуждаются в их общем управлении [1].

Объединенное управление режимами работы интегрированной системы осуществляется диспетчерским управлением, при котором для выполнения задач оперативного управления необходимо постоянно оценивать ее состояние и прогнозировать возможный переход системы в критический режим функционирования. Системы диспетчерского управления распределенными комплексами имеют иерархическую структуру. Логика связей системы управления большими распределенными объектами включает в себя [2]: автоматизированные системы диспетчерского управления (АСДУ), которые функционируют на всех уровнях оперативного управления (в объединенных системах, предприятиях отраслевых сетей, районных сетях); автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) разного уровня; локальные системы автоматического управления (САУ).

Характерным для всех систем диспетчерского управления является то, что с переходом от нижнего звена иерархии к верхнему функции управления расширяются за счет увеличения объема и усложнения задач по ведению режима, при этом доля оперативных задач относительно сокращается, но ответственность за их исполнение возрастает.

Проблемы управления большими развивающимися системами возникают в связи с трудностями оперативного управления при оптимизации параметров их функционирования. Использование традиционных дискретных моделей для анализа всех взаимосвязей между параметрами режима и накладываемых на них ограничений, настолько усложняет постановку задачи, что даже при использовании современных ЭВМ она оказывается слишком громоздкой [3]. Существующие модели больших систем являются дискретными или дискретизированными с целью линеаризации задачи, имеют бесконечную

размерность и оптимизация функционирования таких сетей методами динамического или линейного программирования является задачей, которая занимает большое количество времени и нуждается в огромных ресурсах ЭВМ [4]. В реальном времени быстрый расчет оптимального управления с использованием данных моделей невозможен. Наряду с этим, в больших территориально распределенных системах транспортировки постоянно происходит изменение конфигурации (переключение объектов) и расширение самой системы за счет добавления новых объектов, что приводит к росту размерности вектора состояний и неопределенности в модели, так как точное описание динамически изменяющейся системы невозможно.

Постановка задачи

Целью исследований является поиск методов решения задач оперативного управления на всех уровнях иерархической системы, которые позволяют достоверно анализировать поведение системы и своевременно принимать решения в различных режимах функционирования.

Основная часть

В сложных иерархических территориально рассредоточенных системах распределение и транспортировка ресурса осуществляется от верхних уровней к низшим, которые в свою очередь получают определенное количество ресурса и становятся поставщиками ресурса для следующего уровня потребителей. Каждый уровень характеризуется определенным количеством ресурса и может быть описан с помощью пары категорий: источник и потребитель ресурса. При этом потребитель предыдущего уровня на следующем уровне становится источником ресурса. С повышением уровня число потребителей, которые питаются от источника, и количество распределяемого по ветвям ресурса возрастает. В системах транспортировки с уменьшением масштаба уменьшается и величина (количество) ресурса, который распределяется от источника к потребителям. Для описания больших систем транспортировки и распределения ресурсов с такой самоподобной структурой целесообразно использовать древовидный конструктивный фрактал.

Для построения конструктивных фракталов характерно задавать «основу» и «фрагмент», который повторяется при каждом уменьшении масштаба. Для рассматриваемых систем характерный

фрагмент имеет вид дерева [5]. Ветви изображают линии транспортировки, а два узла, которые соединяются одной ветвью, рассматриваются как пара: источник - потребитель. Описание отношений, которое осуществляется в категориях «источник – потребитель», для всех уровней является идентичным, что соответствует определению фрактальности (рис. 1). Фрактальность структуры дает возможность упрощения математического описания всей системы, так как описание различных частей системы будет одинаковым и идентичным описанию всей системы на соответствующем уровне.

В процессе функционирования больших распределенных систем необходимо изменять перенаправление ресурса между узлами потребителей (С) и поставщиков (Д) для поддержания необходимого баланса в системе. Из-за этого топология фрактальной структуры динамически изменяется; узел из категории потребителя может перейти на некоторое время в категорию поставщика (источника), так как все получаемое количество ресурса он не потребляет, а отдает дальше по фракталу или соседним узлам того же уровня. Так как всегда сохраняется отношение «источник-потребитель» - свойство фрактальности не исчезает, оно проявляется не в физической связи узлов линиями передачи ресурса, а в динамике происходящих процессов распределения ресурсов.

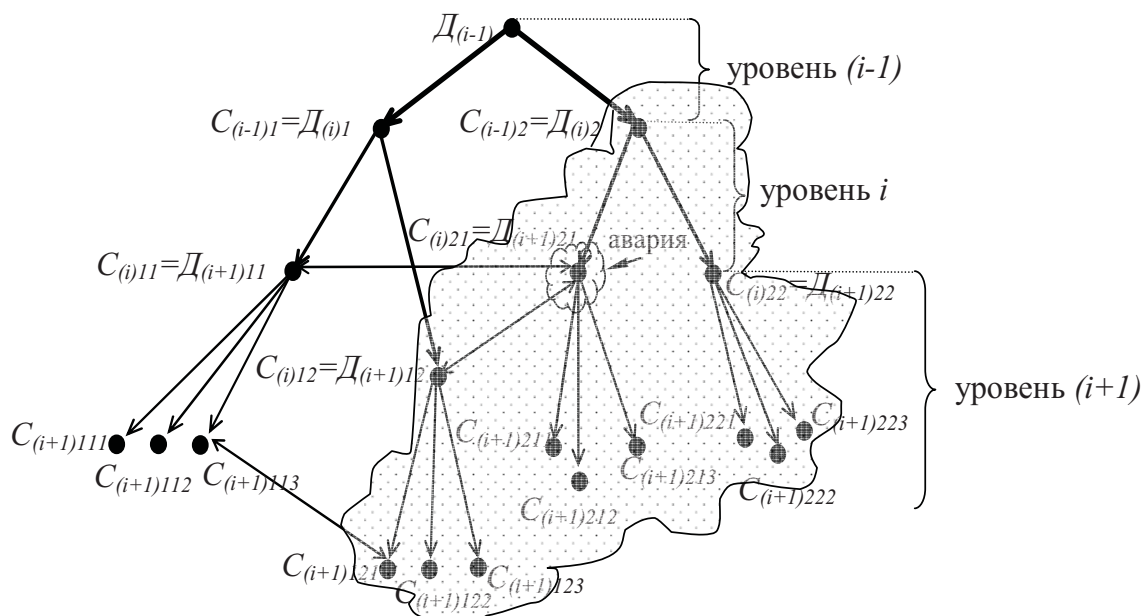


Рисунок 1 – Структура системы с областью возможного распространения аварии

Идентификация точки (узла) возможного зарождения катастрофы дает возможность спрогнозировать направление развития аварии и определить границы возможного распространения аварии. На рис. 1 точка возможного возникновения аварии на территориальной картографической плоскости совпала с узлом $C_{(i)21} = D_{(i+1)21}$ катастрофа будет развиваться в направлении распространения ресурса от верхних уровней иерархии к нижним уровням фрактала, т.е. по узлам $C_{(i+1)211}$, $C_{(i+1)212}$, $C_{(i+1)213}$ следующего низшего уровня фрактала ($i+1$), снабжение которых зависит от источника $D_{(i+1)21}$. Узел $C_{(i)12} = D_{(i+1)12}$ также подпадает под область распространения аварии в случае, если на это время по запланированным графикам распространения ресурса узел $C_{(i)21} = D_{(i+1)21}$ является поставщиком для него. Соответственно узлы $C_{(i+1)121}$, $C_{(i+1)122}$, $C_{(i+1)123}$, которые питаются от источника $D_{(i+1)12}$, также подпадают под категорию возможного распространения аварии. При нарушении баланса может возникнуть перенагрузка и в верхнем узле $C_{(i-1)2} = D_{(i)2}$, который является источником для аварийного узла потребителя $C_{(i)21}$. В свою очередь, перенагрузка в узле $C_{(i-1)2} = D_{(i)2}$ провоцирует распространение аварии на узлы, которые входят в этот сегмент фрактала, а именно $C_{(i)22} = D_{(i+1)22}$, и дальше уже на узлы $C_{(i+1)221}$, $C_{(i+1)222}$, $C_{(i+1)223}$.

При решении задач управления целесообразно применять понятие запаса ресурса, которое дает возможность оценить баланс (разность) между обеспечением (поставкой) и потреблением ресурса и выявить возможную точку разрастания катастрофы. Для территориально распределенных систем удобнее применять модели запаса, снабжения и потребления в непрерывной форме в виде аппроксимирующих оболочек [6], которые дают возможность описать такую структуру, упростить анализ поведения системы и быстро рассчитать оптимальный закон управления в критических и аварийных режимах функционирования.

Непрерывная модель запаса ресурса большой территориально распределенной системы представляет собой динамически изменяющуюся поверхность $Z(x, y, t)$, аппроксимирующую существенные параметры функционирования системы, которая может получаться как разность поверхности снабжения $D(x, y, t)$ и поверхности потребления $C(x, y, t)$ в заданном регионе $(x, y) \in \Omega$:

$$Z(x, y, t) = D(x, y, t) - C(x, y, t). \quad (1)$$

Так, существенным параметром функционирования в энергетических системах является уровень подаваемой (потребляемой) мощности электрической энергии; для систем управления водораспределением при орошении (мелиорации) – уровень влажности почв, связанный с объемами поступающей (в том числе и в виде осадков) воды и объемами влаги потребляемой растениями, испаряемой с поверхности, проходящей в нижние слои почвы; при управлении запасами распределенной сети торговых предприятий – объем запасов товарной продукции на складах и т.п.

Оценить состояние системы на любом уровне можно с помощью проверки условия нормального функционирования системы [7]:

$$Z_{\min} < Z(x, y, t) < Z_{\max}. \quad (2)$$

Переход в критический режим функционирования соответствует выходу поверхности за предельно допустимые уровни значения существенного параметра – Z_{\min} и Z_{\max} .

При выявлении узла, который может быть точкой начала катастрофы, можно очертить область ее распространения и для сохранения работоспособности оборудования систем транспортировки применить все возможные меры по повышению уровня запаса ресурса. Если своевременно не принять меры по стабилизации ситуации, то предаварийная ситуация перерастет в аварию, а авария за очень короткий срок разовьется в катастрофу.

Время стабилизации t_{CT} , в течение которого необходимо рассчитать оптимальное управление для нормализации состояния большой системы в критическом режиме, можно оценить по скорости изменения поверхности запаса ресурса $Z(x, y, t)$:

$$t_{CT} = \left| \frac{Z_{\min(\max)} - Z(x, y, t)}{\dot{Z}(x, y, t)} \right|. \quad (3)$$

Стабилизировать (оптимизировать) состояние распределенной системы можно управляя параметрами функционирования подсистем путем возвращения непрерывной поверхности $Z(x, y, t)$ в допустимый диапазон в условиях дефицита времени $t < t_{CT}$ (или без жестких ограничений на время) за счет увеличения (уменьшения) уровня поверх-

ности снабжения $D(x, y, t)$ (потребления $C(x, y, t)$) в заданном регионе $(x, y) \in \Omega$.

Поднять уровень поверхности запаса ресурса в той точке, где он меньше допустимого значения, можно за счет следующих мероприятий: 1) повышение мощности источника на предыдущем уровне фрактала; 2) подключение аварийного узла к автономному источнику ресурса (АИР), (рис. 2а); 3) изменение топологии сети путем полного или частичного отключения некоторых потребителей, для которых это возможно (рис. 2б); 4) изменение топологии сети за счет подключения аварийного узла сегмента к узлу другого сегмента фрактала (рис. 2в).

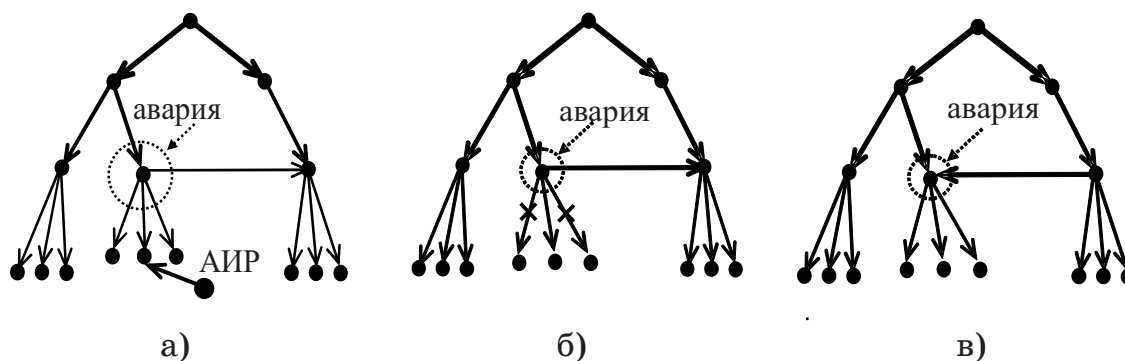


Рисунок 2 – Способы повышения уровня поверхности запаса ресурса

Для оценки эффективности предлагаемых мероприятий и анализа состояния системы после рекомендованных переподключений необходимо провести моделирование для прогноза параметров функционирования системы на проблемных уровнях иерархии распределенной системы. Это предполагает наличие методов формирования непрерывных моделей распределенных объектов, использование которых дает возможность для нахождения оптимального управления в больших системах применять методы вариационного исчисления.

Выводы

Фрактальность структуры иерархических распределенных систем дает возможность упрощения математического описания всей системы, так как описание различных частей системы будет одинаковым и идентичным описанию всей системы на соответствующем уровне. Благодаря самоподобным свойствам их узлов и возможности анализа уровня запаса ресурсов упрощается процесс выявления уз-

лов, которые функционируют в критическом режиме, и прогнозирования времени стабилизации ситуации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Архангельский В.И., Богаенко И.Н., Рюмшин Н.А. Интегрированные АСУ в промышленности. – К.: НПК «Киевский институт автоматизации», 1995. – 316с.
2. Войтов О.Н., Воронин В.Н., Гамм А.З. и др. Автоматизированная система оперативно-диспетчерского управления электроэнергетическими системами. - Новосибирск: Наука, 1986. - 205с.
3. Методы робастного, нейро-нечёткого и адаптивного управления. / Под ред. Н.Д. Егупова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 744с.
4. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-и тт.; Т.5: Методы современной теории автоматического управления. / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова.- М.: Издательство МПУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 784с.
5. Головащенко Н.В. Енергосистема як об'єкт управління з фрактальною структурою / Головащенко Н.В., Рудакова Г.В., Саратовцева І.В. // ААЕКС . – 2006. – № 1(17). – С.164 – 170.
6. Головащенко Н.В., Рудакова Г.В. Моделювання енергосистеми як об'єкта управління. // Муніципальна енергетика: проблеми, рішення: Матеріали міжнародної науково-технічної конференції. 21-22 грудня 2005р. Миколаїв. – С.130-134.
7. Головащенко Н.В., Рудакова Г.В. Оптимальне управління великою електроенергетичною системою в режимі катастрофи: матеріали XIII міжнародної конференції з автоматичного управління [“Автоматика-2006”], (Вінниця, 25–28 вересня 2006р.) / М-во освіти і науки України, Вінн. нац. тех. ун-т. – Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2007. – С.139–143.