

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АНАЛИЗА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТЕРРИТОРИАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ

Гребенюк Г.Г., Лубков Н.В.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,

Россия, г. Москва ул. Профсоюзная д.65

grebenuk@lab49.ru, lbknv@mail.ru

Аннотация: Рассматриваются совокупность свойств, характеризующих технические системы, и факторы, влияющие на работоспособность технических объектов. Показано, что для анализа работоспособности территориально распределенных комплексов необходим учет внешних неблагоприятных воздействий, и требуется наряду с вероятностными моделями использовать ситуационный подход для поиска критических объектов и выявления наиболее опасных воздействий.

Ключевые слова: надежность, безопасность, уязвимость, анализ работоспособности, внешние неблагоприятные воздействия, критичность отказов.

Введение

К территориально распределенным комплексам принято относить крупные предприятия промышленной, топливно энергетической сферы, транспортные системы, информационные системы и системы связи, инженерные инфраструктуры и т.д., которые размещены на определенной территории. Возникает вопрос, начиная с какого момента, или иначе, с какого «размера» территории необходимо учитывать вид размещения на территории технических средств – основных объектов комплекса при анализе работоспособности.

Изменение работоспособности происходит вследствие неблагоприятных воздействий на систему, которые целесообразно представить двумя группами:

Внутренние факторы – отказы оборудования, неправильные действия персонала и т.д.;

Внешние факторы – воздействия природного или техногенного характера (часто нельзя исключать и злонамеренные действия), влияющие на работоспособность оборудования.

Если значимыми признаются только внутренние факторы, то комплекс в целом можно рассматривать как «сосредоточенный объект» и задача анализа работоспособности сосредоточенного объекта описывается в терминах теории надежности / эффективности / техногенной безопасности [1].

Если же игнорировать внешние факторы недопустимо, то следует рассмотреть два варианта их учета.

1. Воздействие фактора имеет «глобальный» характер, приводя однозначно к потере работоспособности системы. В этом случае анализ работоспособности проводится с учетом отказов по *общей причине*.

2. Воздействие фактора (факторов) имеет «локальный» характер, приводя к потере работоспособности отдельных элементов (объектов и/или связей), или их ограниченных совокупностей (групповому отказу).

С учетом вышесказанного, к территориально распределенным комплексам в плане анализа их работоспособности будем относить такие системы, в моделях которых необходимо представлены структура системы (объекты и связи), внутренние и локальные внешние факторы.

1 Характеристика территориально распределенных комплексов

1. Территориально распределенные комплексы (ТРК) представляют собой сложную многоэлементную систему. Элементы ТРК условно можно отнести к двум группам:

- Узловые элементы - функциональные элементы, в которых производится преобразование «рабочего продукта» и которые будем рассматривать как сосредоточенные объекты;
- Линии связи, обеспечивающие целостность системы и неразрывность общего технологического процесса.

2. Нарушение нормального функционирования отдельных элементов ТРК может приводить к недопустимому изменению технологических параметров на входе других элементов, что чревато возникновением более тяжелых последствий, включая каскадные процессы отказов в ТРК.

3. ТРК являются дорогостоящими системами, выходной эффект (как правило, объем выпускаемой продукции) которых может быть значительным. Поэтому для поддержания выходного эффекта на должном уровне принимаются специальные меры – используется структурное и иные виды резервирования, а также техническое обслуживание и ремонты.

2 Факторы влияния на функционирование, работоспособность и свойства систем

Работоспособность определяется согласно [2] как «состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации. Понятие работоспособности лежит в основе научно-технических дисциплин, изучающих свойства надежности, эффективности, безопасности, живучести/уязвимости (НЭБЖ-У) технических объектов/систем. Различия же этих дисциплин в части анализа работоспособности обусловлены в основном следующими обстоятельствами:

- Доминирующими механизмами, порождающими процессы изменения работоспособности и, соответственно, определяющими вид процессов;
- Различием принципов выделения характерных состояний (уровней) работоспособности;
- Использованием разных систем показателей указанных свойств объектов.

Все это предопределяет и специфику используемого математического аппарата и методов оценки показателей свойств.

В плане обеспечения заданного уровня НЭБЖ-У отличия обусловлены необходимостью использования различных мер для сохранения работоспособности, минимизации неблагоприятных последствий потери (снижения) работоспособности в оговоренных условиях эксплуатации объекта, а также различием механизмов (стратегий) восстановления работоспособности объекта или предотвращения дальнейшей ее деградации.

Рассмотренные свойства - надежность и эффективность – характеризуют функционирование системы в нормальных (определенных в ТУ на систему) условиях эксплуатации.

Свойства безопасности, живучести/уязвимости проявляются в условиях чрезвычайных ситуаций. Возникновение чрезвычайных ситуаций может быть обусловлено как внутрисистемными проблемами (опасные отказы оборудования, неверные действия эксплуатирующего персонала, ошибки проектирования и изготовления, и т.д.), так и внешними по отношению к системе неблагоприятными воздействиями (погодные условия, природные катаклизмы, умышленные вредные воздействия).

Внешние воздействия, их частота редко могут быть оценены статистически. Поэтому, в первую очередь, необходимо составить перечень ожидаемых (возможных) событий, по отношению к которым необходимо определить проектные мероприятия для предотвращения, устранения или локализации тяжких последствий. Защита от внешних воздействий особенно актуальна для территориально распределенных систем, поскольку рассредоточение элементов системы и связей между ними по большой территории усугубляет ситуацию – возрастает опасность (вероятность) возникновения внешних воздействий притом, что защитные мероприятия оказываются дорогостоящими и не всегда достаточно эффективными.

3 Показатели функционирования систем (выходного эффекта)

Номинальная производительность объекта/системы обеспечивается при стандартных (номинальных) условиях в течение длительной эксплуатации без расстройств режима его работы и при соблюдении заданных технологических параметров. Причины изменения работоспособности – естественные, обусловленные внутренней природой отказы техники (внезапные поломки и старение/износ оборудования) и внешние неблагоприятные воздействия. Обратный процесс восстановления работоспособности обеспечивается ремонтами отказавшего оборудования.

Каждой из возможных траекторий изменения работоспособности $x(t)$ соответствует график производительности, эксплуатационных затрат. Таким образом, для каждой траектории может быть определен «результат» F , т.е. «условный» показатель при условии, что процесс функционирования сопровождался подобным изменением работоспособности.

Показатель функционирования системы P_f на промежутке времени $(0, T)$ определяется по всей совокупности траекторий, т.е. как «ожидаемое» значение:

$$(1) \quad P_f = M\{F(x(0, T))\}$$

Оператор M математически обоснованно может быть определен, например, тогда, когда процесс $x(t)$ случайный; в этом случае оператор M соответствует математическому ожиданию функционала F . В таком виде могут быть представлены любые показатели надежности и эффективности.

В иных случаях используются различные процедуры формирования числовой оценки показателей в зависимости от имеющейся исходной информации и цели анализа.

4 Модели работоспособности систем и их представление

Большие территориально распределенные системы в большинстве случаев представляют собой совокупность «узловых» элементов, соединенных коммуникационно-технологическими связями.

Наиболее употребительные модели работоспособности имеют следующие представления.

1. Структурные блок-схемы, сетевые модели в виде графов – сочетаются с комбинаторными методами теории вероятностей.

2. Графы пространства состояний работоспособности системы. Данная модель позволяет отобразить несколько уровней работоспособности (многоуровневая модель). Наиболее часто предполагается, что случайный процесс переходов в пространстве состояний является марковским. В этом случае возможно аналитическое решение задачи расчета показателей надежности/эффективности (МПД-метод) [3].

3. Программно-алгоритмические модели для реализации метода статистического моделирования. Эти модели наиболее универсальны, но имеют определенные проблемы при оценке высоконадежных систем, что может потребовать использования специальных ускоренных алгоритмов моделирования [3].

5 Сценарный подход в анализе работоспособности

Внешние неблагоприятные воздействия, как указывалось, труднопредсказуемы в статистическом смысле. По этой причине объективно необходимо проводить отдельно анализ работоспособности в условиях внешних воздействий с использованием методологии сценарного подхода.

Имеется еще один аргумент в пользу отдельного анализа работоспособности: это существенно более высокая «скорость» процессов деградации при внешних воздействиях, чем под влиянием внутренних факторов. По этой причине при внешних воздействиях изменения состояния системы под влиянием внутренних факторов можно не учитывать. Система показателей в отсутствие статистических данных по внешним воздействиям базируется, в основном, на учете структурных параметров системы. Одним из таких показателей является *показатель важности* элемента системы, которая определяется по степени влияния отказа элемента на выходной эффект, и *показатель критичности* - по степени потенциально нанесенного ущерба.

6 Модели оценки ущерба

При сетевом представлении структуры системы ее работоспособность определяется множеством путей «успешного функционирования». Количество путей, в которое входит конкретный компонент, служит мерой важности/критичности компонента.

Наряду с рассмотренным подходом анализа критичности, перспективным является метод сценарного моделирования с оценкой ущерба на основе входу - выходной модели, производной от экономической модели В. Леонтьева [4].

Литература

1. Беляев Ю.К., Богатырев В.А., Болотин В.В. и др. Надежность технических систем: Справочник. Под ред. И. А. Ушакова. Москва, «Радио и связь» 1985.
2. ГОСТ 27.002-89. «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения»
3. Буянов Б.Б., Волик Б.Г., Лубков Н.В., и др. Методы анализа и синтеза структур управляющих систем. Под ред. Б.Г. Волика. – Москва, Энергоатомиздат, 1988. 296 с.
4. J Santos, L.May, Al Haimar Risk-Based Input-Output Analysis of Influenza Epidemic Consequences on Interdependent Workforce Sectors. Risk Anal. 2013 Sep; 33(9): 1620–1635.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3640689>
5. Гребенюк Г.Г., Никишов С.М., Серeda Л.А., Роцин А.А. Модели и алгоритмы анализа взаимосвязанных сетевых инженерных инфраструктур зданий и сооружений. Настоящий сборник.