

ПРИМЕНЕНИЕ ФОРМУЛЫ ХАРТЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТРУКТУРНЫХ СВЯЗЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ В ЗАДАЧЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А.С. Дулесов, Е.А. Ускова

ГОУ ВПО «Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова», г. Абакан

Ключевые слова и фразы: количество информации; мера информации; подход Хартли; система управления информацией.

Аннотация: На основе формулы Хартли представлена упрощенная математическая модель, что позволяет определять величину информации и уровень системной организации элементов технического объекта. Рассмотрены варианты соединения элементов между собой.

Введение

Вопросам обеспечения надежности и качественного функционирования технических систем всегда уделялось внимание со стороны ученых и практиков. Установление механизмов адекватного моделирования процессов функционирования и развития сложных технических систем непосредственно относится к данному вопросу.

Физические возможности и формы их отражения между элементами в технической системе соотносятся с понятием ее открытости. Согласно классической физики, системы представляются образованиями, рассматриваемыми отдельно от внешней среды. «Замкнутые системы никак не взаимодействуют с внешней средой» [1].

Если говорить о технических системах (соподчиненных АСУ), то они должны рассматриваться как открытые. Требования к их высокой выживаемости заставляют постоянно менять структуру и переоснащать технологию функционирования. Рассматривая систему как открытую, необходимо отслеживать состояние внешней среды, проявлять свое отношение к этому состоянию, выполняя действия по изменению структуры. Открытая система органично связана с внешней средой обменом вещества, энтропии, информации и процесс ее новизны и развития носит вероятностный характер.

Рассматривая техническую систему (в частности, ее структуру), в качестве объекта исследований оценивается отклонение ее параметров от нормы. Внутри такой системы информация изменяется, проявляется прямая и обратная связь между элементами, формируются замкнутые контуры управления. Управление должно быть направлено на сохранение устойчивого состояния и последующее развитие. Решение вопроса о приспособляемости системы к изменяющимся условиям накапливает полезную информацию для себя и повышает уровень собственной организации.

Старение технической системы приводит органы управления к необходимости поддерживать ее в работоспособном состоянии. Меняя внутреннюю структуру системы, добиваются уменьшения числа отклонений, повышая тем самым ее живучесть. Следовательно, система управления выполняет требования эволюции открытой системы. Эволюционный процесс предполагает упорядочение структуры, усложнение внутренних связей и рост информации.

Процесс сбора, обработки и интегрирования информации является предпосылкой, основным условием появления новой структуры в открытой технической системе.

Происходящие изменения в системе отражаются в виде информации, поступающей в автоматизированную систему контроля и управления. Структурируясь в контуре обратной связи, формируется новая информация. В результате избирательного отражения и отбора циркулирующей информации, можно управлять процессом развития открытой системы.

Учитывая важность процессов управления направленных на эволюционное развитие системы, далее в работе предлагается процедура определения величины информации, характеризующей уровень системной организации элементов технического объекта.

Постановка задачи исследований. Вид и сложность структуры, в частности, зависит от способов (последовательного, параллельного и смешанного) соединения элементов между собой. В теории надежности рассматривают функциональную и структурную надежности. Результатом анализа структурной надежности являются вероятностные оценки временного нарушения связей между элементами. Оценки позволяют судить о том, насколько сильно способ соединения элементов влияет на уровень надежности системы. Если рассматривать вид и сложность структуры с позиции определения количества информации, то можно сделать вывод о наделении системы способностями к саморазвитию. Такая техническая система способна сохранять надежность функционирования как в предвидимых (типовых), так и в непредвидимых (не типовых, вероятностных, трудно предсказуемых) обстоятельствах через выбор конкретной структуры или создания новой.

Решая задачу определения количества информации, структуру системы можно представить в виде графа $G = (U, D)$, в нем: U – множество вершин, имитирующих источники, приемники и промежуточные звенья; D – множество дуг, имитирующих элементы системы. Граф позволяет описать такие технические системы как электрические сети, сети электросвязи, транспортные и релейные сети, радиосхемы и др. Рассматривая процесс обеспечения надежности как нарушение связи (пути) от источника до приемника, каждому i -му элементу системы (сети) $d_i \in D$ приписывается вероятность его безотказной работы, p_i или вероятность отказа, $q_i = 1 - p_i$. Эти показатели определяются как статистические через среднее время работоспособности или вынужденного простоя элемента. Выделяя возможные связи источника с приемниками, оцениваются вероятности состояния этих путей. При этом рассматриваются условия, при которых отказ одного элемента может привести к отказу всего (или отдельного участка) пути. Это касается рассмотрения зависимости элементов друг от друга и определения условной вероятности состояния цепи.

Как было отмечено выше, каждое состояние элемента (группы элементов) и системы в целом характеризуется не только вероятностью, но и количеством информации. Существуют меры определения количества информации Хартли и Шеннона, получившие свое описание в литературе по теории информации. Опираясь на данную теорию, покажем связь структуры с изменением количества информации, свидетельствующей о ее принадлежности к тому или иному уровню системности и информативности последовательных и параллельных звеньев цепи.

Определение уровня системной организации объекта. Согласно классической формуле Хартли, количество информации, которую несет в себе система, определяется как:

$$I = \log_2 N, \quad (1)$$

где $N = 2^n$ – количество чистых (классических) состояний системы, n - число элементов в системе.

Логарифм по основанию два принят исходя из условия, что элемент системы может находиться в одном из двух состояний (работа или отказ).

Если рассматривать (1) с позиции системной организации (например, в соответствии с [2]), то количество информации по Хартли:

$$I = \log_2 N^\varphi, \quad (2)$$

где φ – коэффициент эмерджентности Хартли, отражающий уровень системной организации технического объекта, имеющего N чистых состояний.

Система под воздействием различных внешних факторов может принимать смешанные состояния. Их можно рассматривать в качестве нелинейной суперпозиции (одновременной реализацией чистых состояний) «из n по m » и определить по выражению:

$$C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!} \quad (3)$$

Системное обобщение формулы Хартли имеет вид:

$$I = \log_2 \sum_{m=1}^M C_n^m, \quad (4)$$

где n – количество элементов в системе, m – сложность комбинаций (смешанных) состояний, M – максимальная сложность вариантов комбинаций состояний.

Выражение (1) позволяет определить количество информации в технической системе, где под действием детерминированных факторов смешанные состояния равновероятны. В свою очередь, (4) учитывает смешанные состояния, возникающие от проявления нелинейно-взаимодействующих факторов.

Слагаемые C_n^m в (4) указывает на присоединение дополнительной информации к уже имеющейся за счет наличия системного эффекта. Он свидетельствует о присутствии в системе смешанных состояний или иерархической структуры, то есть подсистем различного уровня сложности.

Для смешанных равновероятных состояний технической системы при $M = m$:

$$1 + \sum_{m=1}^M C_n^m = 2^n, \quad (5)$$

что свидетельствует о соблюдении между (1) и (4) принципа соответствия.

Выражение (5) указывает на присутствии в системе максимального количества информации при условии, что все события не зависимы и равновероятны. Если события зависимы, то число состояний превысит величину N . Тогда целесообразно воспользоваться выражением (3), в котором взамен n следует ввести N .

В реальной технической системе, рассматривая вопросы обеспечения надежной передачи энергии (информации) от источника к приемнику, все возможные уровни иерархии (смещенные состояния) должны быть разделены на два класса. В первый включаются состояния, обеспечивающие одновременную связь (работоспособность) элементов на пути от источника к приемнику; во второй – нарушающие одновременную связь. Кроме условия сохранения или нарушения связи появление некоторых из возможных состояний может быть маловероятным, так как потеря работоспособности (нарушение связи) одних элементов может зависеть от отказа других и т.д. Эти условия требуют введения ограничений (или правил запрета) на рассмотрение смешанных состояний технической системы. Внося в рассматриваемую систему ограничения, следует вести речь о создании информационного проекта системы.

Создав информационный проект (или проекты) системы можно на основе (4) определить количество информации по Хартли. Для всевозможных структур уровень системной организации объекта будет различным. Так, например, уровень организации цепи из последовательно соединенных элементов будет ниже, чем из параллельно соединенных.

Предложим пример, отражающий смысл системной организации двух информационных проектов, включающих в себя две цепи, каждая из которых состоит из трех элементов, соединенных, соответственно, последовательно и параллельно. Тем самым рассматривается два плоских направленных графа.

Величина информации согласно (4) и с учетом выражения (5):

$$I = \log_2 \left(1 + \sum_{m=1}^3 C_3^m \right) = \log_2 (1 + C_3^1 + C_3^2 + C_3^3) = \log_2 8 = 3$$

Эта же величина информации может быть получена и по выражению (1). Тем самым величина информации не учитывает наличия системной организации и ограничений системы из трех элементов, то есть того, каким образом соединены элементы между собой.

Три элемента могут находиться в восьми состояниях, $N = 8$. Возможные состояния представлены на рис. 1, где обозначение 1 и 0 означает, соответственно, элемент в работоспособном или неработоспособном состоянии. Стрелками показаны возможные переходы от одного состояния к другому.

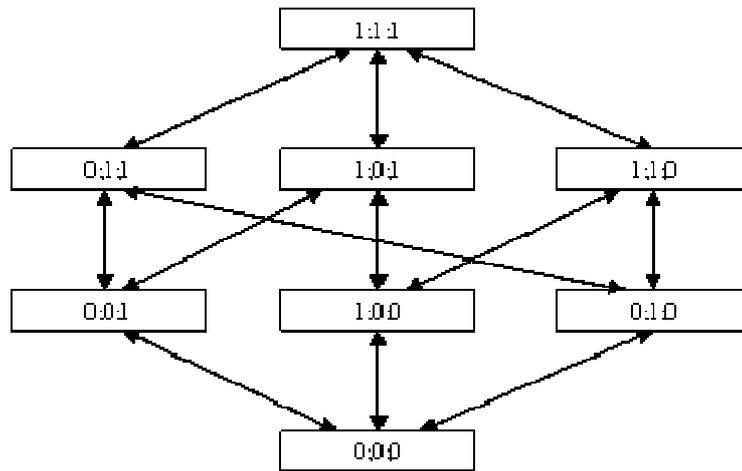


Рис. 1. Структура состояний системы из трех элементов по Хартли

Введем ограничение, используя условие сохранения (или отсутствия) связи между элементами по направлению от источника и приемнику:

–при последовательном соединении связь сохраняется только для одного состояния (1;1;1), для других состояний связь отсутствует;

–при параллельном соединении связь сохраняется для первых семи состояний, для состояния (0;0;0) она отсутствует.

Для первого проекта получим $I_1 = \log_2 1 = 0$, для второго $I_2 = \log_2 7 = 2,81$.

Исходя из позиции надежного обеспечения энергией приемника и полученных значений, вариант из параллельно соединенных элементов обладает повышенным уровнем системной организации.

Учитывая (5), приравняем (2) и (4), получим:

$$I = \log_2 N^* = \log_2 \left(1 + \sum_{n=1}^M C_n^* \right) \quad (6)$$

Из (6) получим коэффициент системности:

$$\varphi = \frac{\log_2 \left(1 + \sum_{n=1}^M C_n^* \right)}{\log_2 N} \quad (7)$$

Соотношение (5) для (7) показывает, что φ варьируется от 0 до 1,0. Данный коэффициент свидетельствует о том, что при его стремлении к 1,0 системность объекта возрастает и достигает своего максимума тогда, когда в технической системе рассматриваются все возможные дискретные состояния.

Для рассмотренного выше примера коэффициент системности:

–равен нулю (отсутствие системности) при последовательном соединении элементов;

– $\varphi = 2,81/3 = 0,94$ при параллельном соединении.

Учитывая (7), выражение (2) примет следующий вид:

$$I(n, M) = \log_2 N \frac{\log_2 \left(1 + \sum_{n=1}^M C_n^* \right)}{\log_2 N} \quad (8)$$

При $n = M$ получим выражение $I(n, M) = \log_2 N = n$, обобщающее классическую формулу Хартли.

Как правило, в проект вводятся дополнительные условия (правила) накладываемые на системность объекта. При анализе надежности технической системы ограничения связаны с рассмотрением работоспособных (или неработоспособных) связей. Следовательно значение φ не будет достигать единицы.

Представленные аналитические выкладки и расчеты свидетельствуют о том, что возрастание числа элементов в технической системе не приводит к интенсивному росту системной информации. Одним из важнейших условий изменения системной информации является способ соединения элементов.

Говоря о надежности системы, как о ее способности сохранять работоспособность связей длительное время, при структурном переходе от последовательных соединений к параллельным, количество информации и системность растут.

Таким образом, структурная надежность имеет непосредственную связь с количеством информации содержащейся в системе, а системная информация зависит от способа соединения элементов, то есть от вида структурных связей.

Список литературы

1. Симанков, В.С. Системный анализ в адаптивном управлении : монография / В.С. Симанков, Е.В. Луценко, В.Н. Лаптев, под научной ред. В.С. Симанкова. – Ин-т совр. технол. и экон. – Краснодар, 2001. – 258 с.

2. Луценко, Е.В. Семантические информационные модели управления агропромышленным комплексом: Монография / Е.В. Луценко, В.И. Лойко. – Краснодар : КубГАУ, 2005. – 480 с.

Application of Hartley Law for Elements Structural Links Evaluation in Task of Providing Reliable Functioning of Technical Systems

A.S. Dulesov, E.A. Uskova

Khakassia State University named after N.F. Katanov, Abakan

Key words and phrases: information volume; amount of information; information measure; Hartley approach; information control system.

Abstract: The paper presents the simplified mathematical model on the basis of Hartley law. It enables to determine the amount of information and the level of system organization of technical object elements. The ways of connecting elements are examined.

© А.С. Дулесов, Е.А. Ускова, 2009