



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЦЕНТР ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Управление качеством»

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
СИСТЕМ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ**

Методические указания к практическим занятиям
по дисциплине "Системный анализ"

Авторы:

Димитров Валерий Петрович
Борисова Людмила Викторовна



Ростов-на-Дону, 2014



Аннотация

Методические указания предназначены для бакалавров по направлению подготовки 221700 Стандартизация и метрология.

Печатается по решению методической комиссии факультета «Приборостроение и техническое регулирование».

Авторы

Заведующий кафедрой «Управление качеством» ДГТУ д.т.н., профессор Димитров Валерий Петрович

Профессор кафедры «Управление качеством» д.т.н., Борисова Людмила Викторовна





Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 СТРУКТУРА ИССЛЕДУЕМОЙ СИСТЕМЫ.....	4
Приложение А – Значения случайных чисел, равномерно распределенных на интервале (0; 1)	11
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА	12
ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ	12



ВВЕДЕНИЕ

Для имитационного моделирования функционирования любой системы необходимо каким-либо разумным способом задать состояние ее входов и, зная закономерности функционирования каждого ее элемента в отдельности и структуру системы, определить состояние её выходов.

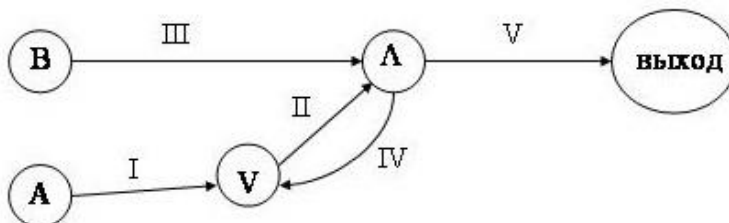
Применительно к производственным, коммерческим, экономическим системам входы можно отождествить с поставщиками, которые случайным образом, либо выполняют свои обязательства, либо срывают поставки. Характеристикой качества таких участников экономической деятельности является надежность, которую можно характеризовать вероятностью события, состоящего в том, что соответствующий поставщик полностью выполнил свои обязательства. Применительно к другим областям деятельности состояние входов может интерпретироваться иначе, однако в любом случае каждый вход характеризуется последовательностью логических значений.

Далее необходимо задать закономерности функционирования элементов системы и её структуру в виде графовой модели. Во всех случаях введение обратной связи в структуру системы принципиально меняет характер этой системы, придает ей свойства, черты и особенности, которых не было у исходной системы без обратной связи.

Недостаток метода – ограниченность количества псевдослучайных чисел, так как последовательность чисел, вычисляемых на ЭВМ по формуле вида $X_{i+1} = F(X_i)$, обязательно периодическая.

1 СТРУКТУРА ИССЛЕДУЕМОЙ СИСТЕМЫ

Структура исследуемой системы задается следующей графовой моделью (рис.):





Системный анализ

Рисунок – Структурная модель исследуемой системы

Система имеет два входа (A и B), два логических элемента (неисключающее «или» - V и «и» - Λ) и один выход. Необходимо отметить, что одной буквой обозначен вход и событие, состоящее в том, что этот вход работает успешно (или, в общем случае, событие, состоящее в том, что на этом входе вырабатывается логический сигнал «1»).

Например, входы A и B можно считать поставщиками, а события A и B состоят в том, что соответствующий поставщик выполняет свои договорные обязательства своевременно.

Событие \bar{A} (не A) состоит в том, что поставщик A сорвал поставки. В работе принята двоичная логика и, следовательно, закон исключенного третьего: событие A либо происходит, либо не происходит, третьи варианты не рассматриваются.

Вероятности $p(A)$ и $p(B)$ задаются как исходные данные каждому студенту индивидуально. Если граф представляет структуру системы автоматики и телемеханики, то события A и B состоят в том, что на соответствующих входах вырабатывается сигнал «1» (импульс напряжения). Событие \bar{B} (не B) состоит в том, что на входе B вырабатывается сигнал «0» (отсутствие электрического напряжения).

Функционирование систем с обратной связью имитируется по тактам. Для разнообразия выходных сигналов целесообразно задавать величины $p(A)$ в интервале $[0,4; 0,6]$, а величины $p(B)$ - в интервале $[0,7; 0,95]$.

Для выполнения работы необходимо использовать таблицу случайных чисел (приложение А). Пусть, например, заданы $p(A) = 0,45$ и $p(B) = 0,92$. Пусть в некотором такте выпали числа 0,67852 и 0,38264 (в таком порядке). Поскольку первое из них, $0,67852 > p(A)$, то считаем, что событие A не имело места (в общем случае на входе A в этом такте выработался логический сигнал «0»).

Поскольку второе из случайных чисел, $0,38264 \leq p(B)$, то на входе B в этом такте случайным образом выработался логический сигнал «1».

Эти сигналы пойдут в данном такте по дугам графа, исходящим из вершин A и B : по дуге I в данном такте пойдет сигнал «0», по дуге III в данном такте пойдет сигнал «1». На прохожде-



Системный анализ

ние сигнала по одной дуге графа требуется один такт функционирования системы. Обратная связь в системе реализуется дугой IV.

Суть имитационного моделирования состоит в том, что на основе таблицы случайных чисел формируется некоторое число (чем больше, тем лучше) состояний входов и, анализируя прохождение логических сигналов в структуре системы, делается вывод о соответствующем числе состояний (тактов) всех выходов (в данном случае одного) системы. Результат интерпретируется применительно к конкретной системе.

2 ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМЫ И ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ

Каждый из логических элементов «V» и «Λ» имеет по два входа и по одному выходу. У элемента «Λ» этот выход разветвляется по двум дугам V и IV, по этим дугам в данном такте идет один и тот же сигнал, вырабатываемый этим элементом. Выходы логических элементов задаются таблицами истинности. Для элемента «V» таблица истинности приведена в табл. 1.

Таблица 1 – Таблица истинности для элемента V («или»)

вход, дуга I	вход, дуга IV	выход, дуга II
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Из таблицы видно, что если хотя бы на один из входов элемента «V» подается логический сигнал «1», то и на выходе этого элемента вырабатывается сигнал «1». Сигнал «0» на выходе элемента «V» вырабатывается только в том случае, если на оба входа подаются сигналы «0».

Для элемента «Λ» таблица истинности приведена в табл. 2.

Таблица 2 – Таблица истинности для элемента Λ («и»)

вход, дуга III	вход, дуга II	выход, дуги V и IV
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Сигнал «1» на выходе элемента «Λ» вырабатывается только в том случае, если на оба входа подаются сигналы «1». В осталь-



Системный анализ

ных случаях на выходе этого элемента формируется сигнал «0».

Логические значения входов учитываются на текущем такте работы системы, а соответствующее логическое значение выход примет только на следующем такте, поскольку для преобразования входных сигналов в выходной логическому элементу необходимо время – один такт работы.

3 ИМИТАЦИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ

Имитация функционирования системы состоит в случайном задании логических значений на входах системы и в определении логических значений сигналов на всех дугах графа, моделирующего структуру системы, в каждый такт ее работы. Состояние единственного выхода рассматриваемой системы совпадает с логическим значением, передаваемым в данный такт по дуге V.

Поскольку логические элементы используют значения входов на предыдущем такте, чтобы выработать значение выхода на текущем такте, приходится использовать «нулевой» такт, когда система не функционировала и все сигналы на всех дугах графа были нулевыми. Это может оказаться существенным, если одним из логических элементов будет элемент «не», инвертирующий нулевой сигнал на своем входе в единичный на выходе.

Имитация функционирования системы графически иллюстрируется таблицей, в которую заносятся логические значения входов, значения на всех дугах графа и значение (в данном случае одно) на выходе системы в каждый такт ее функционирования. Нулевой такт изображается начальной строкой со всеми нулевыми значениями на всех дугах и на выходе.

На первом такте значения входов определяются первой парой случайных чисел. Пусть заданы $p(A) = 0,45$, $p(B) = 0,92$ и в первом такте реализовались случайные числа 0,67852 и 0,38264. Тогда нулевая строка и начало первой строки в имитационной таблице будут выглядеть, как показано в табл.3.

Таблица 3 – Состояние системы в нулевой такт ее функционирования и состояние ее входов в первом такте

№ такта	Случайные числа	Входы		Сигналы на дугах					Выход
		A	B	I	II	III	IV	V	
0	-	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0,67852; 0,38264	0	1	0		1			



Системный анализ

По дуге I всегда идет тот же сигнал, что на входе A в данном такте, а по дуге III – тот же сигнал, что на входе B. За первый такт сигналы только подошли ко входам логических элементов, но эти элементы еще не успели выработать свои выходы, поэтому на исходящих из логических элементов дугах в первом такте все сигналы еще нулевые. Следовательно, пустые места во второй строчке таблицы необходимо заполнить нулями.

Для второго такта считываем вторую пару случайных чисел из таблицы случайных чисел. Например, ими оказались 0,28921 и 0,85203. Поскольку $0,28921 < p(A) = 0,45$, то на вход A подается «1». Поскольку $0,85203 < p(B) = 0,92$, то на вход B опять подается «1». Начинаем заполнять 3-ю строчку, соответствующую 2-му такту функционирования системы (табл. 4).

В первом такте ко входам элемента «V» подошли 2 сигнала: «0» по дуге I и «0» по дуге IV. По таблице истинности определяем, что на втором такте на выходе элемента «V» выработается сигнал «0», который пойдет по дуге II. Заносим его в таблицу. Ко входам элемента «Λ» в первом такте подошли 2 сигнала: «1» по дуге III и «0» по дуге II. По таблице истинности для элемента «Λ» определяем, что на его выходе во 2-м такте будет «0». Этот сигнал пойдет по двум дугам одновременно: V и IV. Дуга V является выходом всей системы, а дуга IV реализует обратную связь и подает свой сигнал на вход элемента «V». Таким образом, во втором такте по дугам II, V и IV пойдут опять «нули».

Таблица 4 – Состояние системы в нулевой и первый такты ее функционирования и состояние ее входов во втором такте

№ такта	Случайные числа	Входы		Сигналы на дугах					Выход
		A	B	I	II	III	IV	V	
0	-	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0,67852; 0,38264	0	1	0	0	1	0	0	0
2	0,28921; 0,85203	1	1	1		1			

Пусть теперь в 3-м такте выпали случайные числа: 0,11215 и 0,73567. На оба входа подаются «единицы», которые идут по дугам I и III.



Системный анализ

Таблица 5 – Состояние системы в нулевой, первый и второй такты ее функционирования и состояние ее входов в третьем такте

№ такта	Случайные числа	Входы		Сигналы на дугах					Выход
		A	B	I	II	III	IV	V	
0	-	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0,67852; 0,38264	0	1	0	0	1	0	0	0
2	0,28921; 0,85203	1	1	1	0	1	0	0	0
3	0,11215; 0,73567	1	1	1		1			

Во втором такте ко входам элемента «V» подошли сигналы: «1» по дуге I и «0» по дуге IV (обратная связь). По таблице истинности для «V» определяем, что на выходе элемента «V» в 3-м такте будет «1» по дуге II. Ко входам элемента «Λ» во втором такте подошли 2 сигнала: «1» по дуге III и «0» по дуге II. По таблице истинности для «Λ» находим значение его выхода на 3-м такте, равное опять «0». Заносим его в столбцы, соответствующие дугам V и IV.

Таблица 6 – Состояние системы в нулевом такте и в первых 3-х тактах ее функционирования

№ такта	Случайные числа	Входы		Сигналы на дугах					Выход
		A	B	I	II	III	IV	V	
0	-	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0,67852; 0,38264	0	1	0	0	1	0	0	0
2	0,28921; 0,85203	1	1	1	0	1	0	0	0
3	0,11215; 0,73567	1	1	1	1	1	0	0	0

Пусть в 4-м такте выпали случайные числа 0,72008, 0,63969. На входе A сигнал «0», на входе B «1». Эти сигналы идут по дугам I и III соответственно. В 3-м такте ко входам элемента «V» подошли сигналы: «1» по дуге I и «0» по дуге IV, значит, в 4-м такте



Системный анализ

на его выходе будет «1» (дуга II). В 3-м такте ко входам элемента «Л» подошли: «1» по дуге III и «1» по дуге II. Значит, в 4-м такте на его выходе (дуги V и IV) будет тоже «1». Эта «1» будет значением выхода всей системы в 4-м такте. Итак, после имитации 4-х тактов получилась таблица 7.

Таблица 7 – Состояние системы в нулевом такте и в первых 4-х тактах ее функционирования

№ такта	Случайные числа	Входы		Сигналы на дугах					Выход
		A	B	I	II	III	IV	V	
0	-	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0,67852; 0,38264	0	1	0	0	1	0	0	0
2	0,28921; 0,85203	1	1	1	0	1	0	0	0
3	0,11215; 0,73567	1	1	1	1	1	0	0	0
4	0,72008; 0,63969	0	1	0	1	1	1	1	1

Из таблицы случайных чисел можно получить 40 пар случайных чисел, и, соответственно, имитировать функционирование системы в 40 тактах работы. Необходимо построить последовательности логических значений «нулей» и «единиц» на выходе системы. Если рассматривать систему как производственную, то отношение числа тактов (кроме нулевого), в которых на выходе реализовалась «единица», к общему числу тактов характеризует успешность, коммерческие достоинства системы (успех в 35 тактах из 40 – хорошо, в 12 из 40 – плохо и т.д.). Чем сложнее структура системы, чем труднее цели, которые она должна достигнуть, тем больше тактов она должна проработать с нулевым результатом, прежде чем на выходе появятся ожидаемые «единицы».

При имитации функционирования системы без обратной связи каждый такт рассчитывался индивидуально, без учета предыдущего. Поэтому строки, соответствовавшие разным тактам, можно было менять местами, и результат имитации от этого не менялся. В системах с обратной связью состояние в каждом такте зависит от состояния в предыдущем такте (стрелки в таблицах состояний). Поэтому менять местами строки, соответствующие разным тактам, для систем с обратной связью нельзя. В этом состоит одно из принципиальных отличий имитационного моделирования функционирования систем с обратной связью от имита-



Системный анализ

ционного моделирования функционирования систем без обратной связи.

Приложение А – Значения случайных чисел, равномерно распределенных на интервале (0; 1)

0,86515	0,46156	0,56558	0,94377
0,69186	0,42502	0,88955	0,91641
0,41686	0,85181	0,33181	0,53807
0,86522	0,88059	0,67248	0,12311
0,72587	0,89688	0,27689	0,14480
0,52452	0,33346	0,79130	0,45420
0,76773	0,27256	0,25731	0,16287
0,04826	0,80317	0,45904	0,70492
0,87113	0,45863	0,19976	0,07824
0,84754	0,38132	0,15218	0,89571
0,90795	0,66434	0,12332	0,57802
0,03393	0,99224	0,53758	0,18867
0,42163	0,38967	0,72664	0,00607
0,47171	0,89342	0,09082	0,90316
0,93000	0,78416	0,99628	0,50961
0,42499	0,83935	0,90410	0,77757
0,97526	0,66447	0,37625	0,66181
0,82134	0,75120	0,75601	0,10274
0,84778	0,24620	0,49250	0,76044
0,57616	0,64294	0,49286	0,42903



РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Введение в системный анализ: учеб.пособие / В.П. Димитров, Л.В. Борисова, Б.Б. Жмайлов – 2-е изд., испр. и доп. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2013. – 77 с.
2. Системный анализ и принятие решений: учебное пособие / С.А. Баркалов, И.С. Суровцев, А.И. Половинкина ; науч.ред. В.Н. Бурков. – Воронеж : Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2010. – 652 с.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Что такое элемент системы? Что такое подсистема?
2. Что такое вероятность события? Как она связана с практически наблюдаемой частотой этого события в n испытаниях?
3. Что такое граф? Что нужно задать, чтобы граф был определен полностью?
4. Какой величиной математически задается надежность элемента системы?
5. Каким математическим объектом задается структура системы?
6. В каком случае говорят, что система обладает обратной связью?
7. Изобразите графовую модель структуры технической системы «паровая машина». Каким образом эта модель отображает обратные связи? Сколько их?
8. Каковы таблицы истинности для логических элементов «неисключающие или» и «и»? Что означают эти таблицы?
9. Каким образом иллюстрируется имитация функционирования системы?
10. Как интерпретируются результаты имитационного моделирования для экономических, производственных, коммерческих систем? Для систем автоматики и телемеханики?
11. В чем состоит одно из принципиальных отличий имитационного моделирования систем с обратной связью от имитационного моделирования систем без обратной связи?