

With the modeled casting rate, the rod is fully solidified before leaving the mold. This means that the process engineers can increase the casting rate without running into problems, thus increasing the production rate.

The phase transition occurs in a very narrow zone although the model utilizes a transition half width,  $\Delta T$ , of 5 K. In reality it would be even more distinct if a pure metal were being cast but somewhat broader if the cast material were an alloy with a wider  $\Delta T$ .

The model is solved using a built-in adaptive meshing technique. This is necessary because the transition zone—that is, the region where the phase

change occurs—requires a fine discretization. The adaptive meshing technique allows for fast and accurate calculations even if the transition width is brought down to a low value, such as for pure metals.

### References

1. COMSOL Multiphysics User's Guide, Version 3.3.
2. V.R.Voller, C.Prakash, Int.J.Heat Mass Transfer, vol. 30, pp.1709-1719, 1987.
3. Официальный сайт ComsolMultiphysics. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.comsol.com/>, свободный.

## МЕТОДЫ ОПИСАНИЯ БЛОК-СХЕМ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ

Динь Ван Тай, Нгуен Ань Ту  
Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр-т Ленина, 30  
E-mail: [dinhvantai88@gmail.com](mailto:dinhvantai88@gmail.com)

### Введение

Анализ конструктивных схем современных технических систем показывает, что они, как объект исследования, надежности представляют собой сложные последовательно-параллельные структуры. Основная проблема создания имитационной модели на ЭВМ заключается в сложности описания взаимодействий элементов системы на языке, понятном ЭВМ.

### Основные виды соединения элементов [1]

1. Последовательное соединение:

При отказе любого элемента отказывает вся система; наработка до отказа системы равна наработке до отказа того элемента, у которого она оказалась минимальной:

$$T_c = \min(T_j), \quad j = 1, 2, \dots, n,$$

где  $n$  — число элементов системы.

2. Параллельное нагруженное («горячее») соединение:

Система сохраняет работоспособность, пока работоспособен хотя бы один элемент из  $k$  включенных в работу; наработка до отказа системы равна максимальному значению из значений наработки до отказа элементов:

$$T_c = \max(T_j), \quad j = 1, 2, \dots, k,$$

где  $k$  — число элементов системы.

3. Параллельное ненагруженное («холодное») соединение:

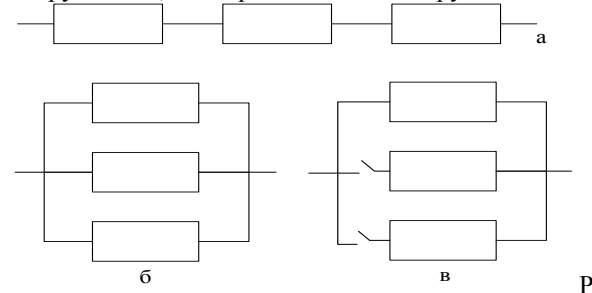
Резервный элемент включается в работу только при отказе основного элемента; наработка до отказа системы равна сумме наработок до отказа элементов.

$$T_c = \sum_{j=1}^m T_j,$$

где  $m$  — число элементов системы.

На рисунке 1 приведены обозначения трех видов соединений элементов для расчета надежно-

сти: а — последовательное; б — параллельное нагруженное; в — параллельное ненагруженное.



ис. 1. Виды соединений элементов: а — последовательное; б — параллельное нагруженное; в — параллельное ненагруженное

### Способы описания блок-схем надежности

Структура системы записывается по заданным правилам в текстовом файле, который в дальнейшем можно использовать для создания специализированного программного обеспечения по расчёту показателей надёжности. В данной работе используется пакет Matlab.

1. Для параллельно-последовательной системы [2].

Первый столбец — порядковые номера элементов, входящих в состав системы.

Второй столбец — цифровой код закона распределения времени до отказа каждого элемента:

- «1» соответствует нормальному закону распределения;
- «2» соответствует закону распределения Вейбулла;
- «3» соответствует экспоненциальному закону распределения;
- «4» соответствует логнормальному закону распределения.

В третьем и четвертом столбцах находятся соответственно первый и второй коэффициенты

распределений. В случае экспоненциального распределения второй коэффициент равен нулю.

Пятый столбец показывает ветвь, в которой находятся элементы, а в первой строке шестого столбца записывается вид связи между ветвями: цифра «1», если соединение между ветвями является параллельным нагруженным, и «2» для параллельного ненагруженного соединения.

Далее приведен пример для схемы с параллельно-последовательным соединением (рис. 2) и ее описание (рис. 3).

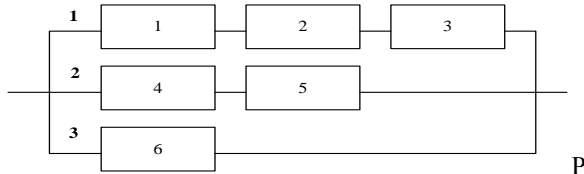


рис. 2. Пример схемы с параллельно-последовательным соединением

2. Для последовательно-параллельной системы [2].

Столбцы с первого по четвертый аналогичны случаю параллельно-последовательной системы.

Пятый столбец показывает узел, с которым элемент связывает слева, а в шестом столбце записывается вид связи между двумя последовательными элементами: «1» обозначает, что отсутствуют элементы параллельные ему, «2» – если соединение между элементами является параллельным нагруженным, и «3» для параллельного ненагруженного соединения.

Номер элемента	Закон распр	Коэф. 1	Коэф. 2	Ветвь	Связь
1	1	3000	250	1	1
2	2	0,0001	1,3	1	
3	1	3500	350	1	
4	2	0,0001	2,2	2	
5	3	5000	0	2	
6	3	9000	0	1	

Рис. 3. Описание структурной схемы, изображенной на рисунке 2

Пример схемы системы с последовательно-параллельным соединением и ее описание приведены на рисунках 4 и 5 соответственно.

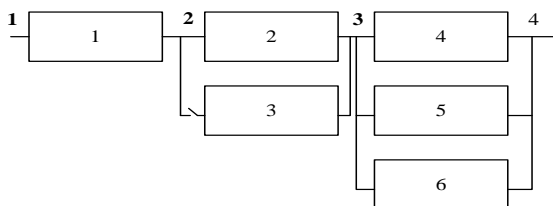


Рис. 4. Пример схемы с последовательно-параллельным соединением

Номер элемента	Закон распр	Коэф. 1	Коэф. 2	Начало (для послед.)	Тип связи
1	1	3000	250	1	1
2	2	0,0001	1,3	2	3
3	1	3500	350	2	3
4	2	0,0001	2,2	3	2
5	3	5000	0	3	2
6	3	9000	0	3	2

Рис. 5. Описание структурной схемы, изображенной на рисунке 4

3. Для смешанного соединения.

Первый столбец – уникальные буквенно-цифровые обозначения типовых блоков элементов. При этом каждому типу соответствует своя буква:

S – последовательное соединение;

P – параллельное нагруженное («горячее») соединение;

K – параллельное ненагруженное («холодное») соединение.

При записи файла структуры системы необходимо руководствоваться следующим правилом: если элементом некоторого блока является составной блок, то он должен быть описан выше в файле структуры.

В последующих столбцах записываются элементы, входящие в состав блока.

Каждая строка заканчивается знаком «/».

Далее показываются, пример для схемы параллельно-последовательного соединения (рис. 6) и ее описание (рис. 7).

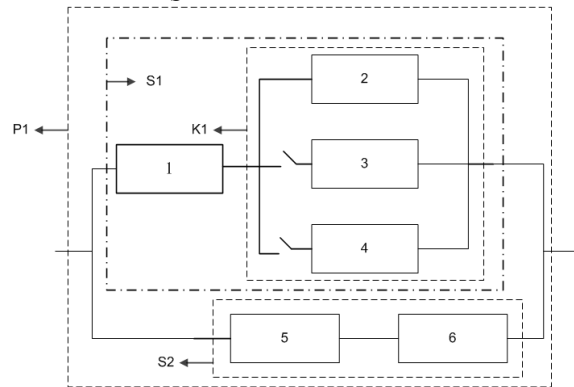


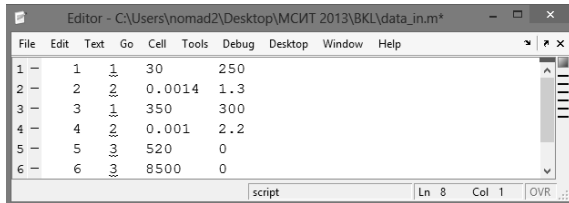
Рис. 6. Пример смешанного соединения

K1	e(:,2)	e(:,3)	e(:,4) /
S1	K1	e(:,1)	/
S2	e(:,5)	e(:,6)	/
P1	S1	S2/	

Рис. 7. Описание структуры схемы на рисунке 6

На рисунке 7 e(:,j) обозначает наработку на отказ j-го элемента.

Матрицы коэффициентов записываются в отдельном файле и используются в процессе расчёта. Пример приведен на рисунке 8.



1	30	250
2	0,0014	1,3
3	350	300
4	0,001	2,2
5	520	0
6	8500	0

Рис. 8. Пример матрицы коэффициентов

### Заключение

В ходе выполнения работы была решена проблема описания блок-схемы надежности системы

путём создания структурированного текстового файла по заданным правилам. Результаты работы используются для дальнейшего расчёта показателей надёжности технических систем.

### Литература

1. Острейковский В. А. Теория надежности: учебник для вузов / В.А Острейковский. – 2-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 2008. – 463 с.
2. Шкляр, Виктор Николаевич. Надежность систем управления: учебное пособие / В. Н. Шкляр; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. — 126 с.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КД-ДЕРЕВЬЕВ ДЛЯ УСКОРЕНИЯ РАБОТЫ ТРАССИРОВЩИКА ЛУЧЕЙ

Григорьев А.И., Михайлов Е.В.

Научный руководитель: Сорокин Николай Юрьевич, к.т.н., доцент кафедры ВТ ТОГУ

Тихоокеанский государственный университет

680035, Россия, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136

E-mail: axgreg@gmail.com

### Введение

Одна из основных задач компьютерной графики – это генерация реалистичных изображений. Если рассмотреть основные направления использования компьютерной графики, то можно выделить два фундаментально разных типа приложений: высококачественные не интерактивные приложения на одной стороне и быстрые интерактивные приложения на другой. В них используются разные методы генерации изображений. Очевидно, что для интерактивных приложений необходимо выбирать метод, обладающий наибольшей производительностью, но, как правило, такие методы весьма ограничены в возможностях представления реалистичных изображений.

Одним из методов для построения изображения является трассировка лучей (ray tracing), который позволяет генерировать высококачественные реалистичные изображения, но за счет более высоких требований к вычислительным ресурсам системы.

Основная идея метода состоит в имитации прохождения луча от источника света через различные поверхности до воображаемой камеры. Свет распространяется по прямым линиям. Имитация света так, как это выглядит в природе позволяет создавать различные оптические эффекты, такие как: преломление и отражение света, отбрасывание теней, изменение цвета и т.п. Трассировка лучей позволяет создавать более реалистичные изображения, чем обычные методы построения рендеринга.

Для повышения скорости расчетов трассировки предлагаются различные решения. Одно из таких – это использование ускоряющих структур.

Одной из наиболее эффективных является kd-дерево.

При использовании kd-дерева мы непосредственно сталкиваемся с двумя проблемами: построение дерева и прослеживание луча в дереве.

Решение этих проблем позволяет не только существенно повысить производительность трассировщика лучей, но и использовать его для рендеринга в интерактивном режиме.

### Kd-дерево

Kd-дерево (k-мерное дерево) – особый вид бинарных деревьев поиска. Kd-деревья служат для упорядочивания точек в k-мерном пространстве.

Узел дерева содержит следующую информацию: ось разбиения; границы объема; разбивающая плоскость; ссылки на левого и правого потомков; метка, которая говорит о том, что данный узел является листом; если данный узел является листом, то в нем хранится информация о примитивах, которые содержатся в текущем объеме

Достоинства kd-дерева: адаптивное - позволяет быстро отсекал большие объемы пустого пространства; компактное - занимает мало памяти; простой и эффективный алгоритм прослеживания луча.

Недостатки: трудоемкое построение с помощью оценочных функций.

### Построение kd-дерева

Алгоритм можно представить следующим образом.

а) добавить все примитивы в ограничивающий объем. Т. е. построить ограничивающий объём.