

Заключение. Работа посвящена моделированию движения заряженных частиц во внешнем электрическом поле. В ходе работы было показана процедура решения уравнений движения заряженных частиц в полях с последующим моделированием движения при различных параметрах.

Литература

1. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика: учеб. пособ.: для вузов. В 10 т. Т. II. Теория поля / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – Москва : Физматлит. – 2006. – 586 с.
2. Медведев, Б.В. Начала теоретической физики / Б.В. Медведев. – Москва: Наука.–1977.– 496 с.
3. Савельев И.В. Основы теоретической физики: учебник. В 2 томах. Т. I. Механика. Электродинамика / И.В. Савельев. – Спб. : Издательство «Лань».–2005. – 496 с.

Е.В. Зайцев (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель),
Т.Я. Каморникова (ассистент УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)
Науч. рук. **Е.И. Сукач**, канд. техн. наук, доцент

ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ОЦЕНКИ НАДЁЖНОСТИ СХЕМ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ УЧАСТКОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА

Проектирование и исследование надёжности технологического процесса производства (ТПП) немислимы без его математического моделирования, учитывающего структурную организацию исследуемого объекта, параметры элементов и случайные воздействия факторов внешней среды. Модель упрощает, удешевляет и ускоряет процесс исследования оригинала. Необходимость использования моделей возникает, когда получение решений на реальном объекте дорого, сложно или вообще невозможно [1]. В случае наличия элементов потенциальной опасности моделирование предупреждает возникновение аварий и чрезвычайных ситуаций в ходе функционирования исследуемых объектов. С использованием автоматизированного компьютерного моделирования возможен выбор схем резервирования потенциально опасных участков ТПП, позволяющих предупредить аварии на системном уровне.

В докладе приводится один из подходов к решению задачи сравнительного анализа надёжности различных схем резервирования участков ТПП, основанный на проведении вероятностных расчётов, учитывающих вероятностные характеристики структурных составляющих ТПП с различным числом их состояний надёжности. Дается описание

программных средств, позволяющих сформировать различные схемы резервирования, задать вероятностные параметры их элементов и оценить их надёжность.

Объектом исследования является основная подсистема производственных систем, а именно, подсистема ТПП, представленная в виде графа. Предполагается, что элементами подсистемы являются технологические операции (ТХО), при выполнении которых могут происходить отказы и опасные отказы. Таким образом, часть из ТХО по ряду признаков можно отнести к потенциально опасным элементам, оказывающим непосредственное влияние на реализацию технологического цикла.

В качестве характеристик надёжности элементов при оценке надёжности организации подсистемы ТПП были выбраны вероятности отказов, возникающие в ходе выполнения ТХО. Рассматривались три состояния надёжности элементов: S_1 – надёжное выполнение операции; S_2 – отказы при выполнении ТХО; S_3 – опасные отказы при выполнении ТХО. Первые элементы p_0^i векторов

$$P^i = (p_0^i, p_1^i, \dots, p_n^i), \sum_{j=0}^n p_j^i = 1, i = \overline{1, m} \quad (1)$$

определяли вероятность безотказного выполнения i -ой ТХО, вторые p_1^i указывали на вероятности отказов при выполнении ТХО, не влияющие на надёжность выполнения последующих ТХО; третьи составляющие вектора (1) p_2^i задавали вероятность опасного отказа, возникающего при выполнении ТХО.

Для описания связей между ТХО были использованы функции, определяющие коэффициенты вероятностно-алгебраического умножения, однозначно позволяющие рассчитать вероятностные характеристики всей подсистемы ТПП на основе известных значений векторов вида (1).

Для описания ТХО, реализуемых последовательно использовались функции вида $F_1(i, j) = \max(i, j)$. Такой выбор функции означает, что при выполнении цепочки последовательных $\{ТХО_i\}$ отказ происходит в результате отказа наименее надёжной ТХО. Такой технологической операцией является ТХО из множества $\{ТХО_i\}$, которая находится в состоянии с максимальным номером, определяющим её показатель надёжности.

Для описания ТХО, реализуемых параллельно использовались функции вида $F_2(i, j) = \min(i, j)$. Такой выбор функции означает, что при одновременном выполнении множества параллельных $\{ТХО_i\}$ отказ происходит в только в случае отказа самой надёжной ТХО. Такой ТХО является та из множества $\{ТХО_i\}$, которая находится в состоянии с минимальным номером.

Для расчёта надёжности участков, на которых реализуется выполнение совокупности ТХО с резервированием по схеме мажоритарной логики (2 из 3) использовалась функция вида $F_3(i, j, l)_{2/3} = [(i + j + l - \min(i, j, l)) / 2]$, что означает: при одновременном выполнении множества $\{ТХО_i\}$, участок надёжен, если выполняются минимум две из трёх ТХО.

Переход к оценке времени и стоимости выполнения цикла ТПП (с подсчётом результирующих значений времени и стоимости выполнения технологического цикла) осуществляется путём изменения функций, определяющих коэффициенты вероятностно-алгебраического моделирования, и обновлением значений векторов вероятностей (1) в соответствии с выбранной семантикой.

В этом случае для определения оценки ТХО, реализуемых последовательно использовалась функции вида $F_4(i, j) = \min(i + j - 1, n)$. Такой выбор функции означает, что при выполнении цепочки последовательных ТХО из множества $\{ТХО_i\}$ происходит суммирование значений времени/стоимости их выполнения с одновременным формированием интегральных значений вероятностей этой величины.

Для демонстрации решения поставленной задачи использовалось программное обеспечение, обеспечивающее расчёт надёжности выполнения ТПП для различных схем резервирования ТХО со случайными значениями вероятностей их отказа (опасного отказа). На рисунке 1 представлен фрагмент интерфейса, демонстрирующий расчёт надёжности ТПП, включающей два элемента (ТХО), соединённых последовательно.

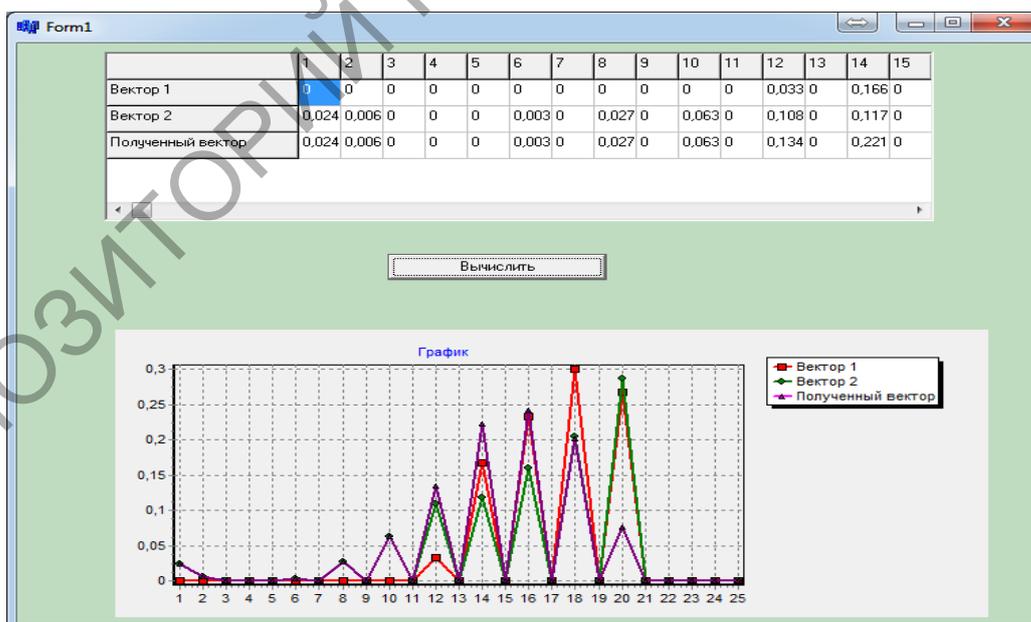


Рисунок 1 – Фрагмент интерфейса программного обеспечения для расчёта надёжности схем резервирования участков ТПП

Литература

1. Зайцев, Е.В. Свойства схемы формализации вероятностного моделирования графовых объектов / Е.В. Зайцев, А.А. Красовская, Е.Е. Шереметьева // XLIII студенческая научная конференция «Дни студенческой науки», 24–25 апреля 2014г., ГГУ им. Ф. Скорины. – 2014, ч.1. – С. 58–59.

В.Д. Коротченя, Т.С. Лавицкая (БГУ, Минск)
Науч. рук. **Ю.М. Покотило**, канд. физ.-мат. наук, доцент,
А.Н. Петух, канд. физ.-мат. наук, доцент

ДИНАМИКА РАСПЛАВА В ПРОЦЕССЕ РОСТА МОНОКРИСТАЛЛОВ КРЕМНИЯ МЕТОДОМ ЧОХРАЛЬСКОГО

Известно [1], что характер распределения примесей в объеме монокристалла достаточно объективно отражает гидродинамическую ситуацию в расплаве у фронта кристаллизации. Поэтому получение полупроводникового материала с определенными характеристиками требует учета всего сложного комплекса физико-химических явлений, сопровождающий рост кристалла. Целью настоящей работы явилось изучение процессов, управляющих формированием микронеоднородности на основе изучения распределения примесей вдоль оси роста кристаллов.

Исследовались слитки кремния типа КДБ-12 и КЭФ-4,5, которые выращивались методом Чохральского на различных промышленных установках. Кристаллизация осуществлялась из шихты без вращения тигля. Диаметры тигля и слитков равны 330 мм и 100 мм соответственно. Частота вращения слитков (ω) составляла 3–5 об/мин, а скорость их вытягивания (R) варьировалась от слитка к слитку в пределах 0,8–1,2 мм/мин. Распределение концентрации кислорода и легирующих примесей (бора или фосфора) вдоль оси роста слитков измерялось спектрометром, разработанным и изготовленным на кафедре физической информатики и атомно-молекулярной физики.

На рис.1 представлены типичные профили распределения концентрации кислорода вдоль оси роста слитков. Общей закономерностью представленных на рисунке.1 распределений является наличие микроскопических осцилляций, сопровождающих изменение концентрации кислорода в макроскопическом масштабе. Неоднородности такого типа, на первый взгляд, ассоциируются с шумами измерительной системы или с внешними случайными воздействиями на ростовую систему, но