

УДК 681.5.09

О.В. Филипович, асс., В.Я. Копп, проф. д-р техн. наук, Л.В. Галкина, асс.

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: ps@sevgtu14.sebastopol.ua

АЛГОРИТМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОДНОПОТОЧНЫХ АСИНХРОННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ЛИНИЙ И ЕГО ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Рассматривается итерационная полумарковская модель асинхронной однопоточной автоматизированной линии, приводятся алгоритм итерационной процедуры, а также принципы реализации этого алгоритма в среде Maple.

Рассматривается процесс функционирования асинхронной однопоточной автоматизированной линии (ОАЛ), содержащая n технологических ячеек, структура которой в формализованном виде, приведенная к нормальному виду, показана на рисунке 1.

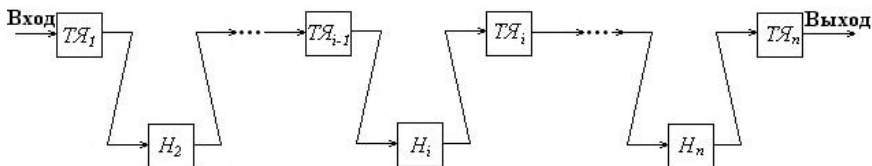


Рисунок 1 – Структура ОАЛ в формализованном виде

Элементарными объектами линии являются технологические ячейки (ТЯ – основное технологическое оборудование) и межоперационные накопители (Н). ОАЛ дискретного производства являются сложными системами, выполняющими, как правило, большое количество операций, процессы их функционирования носят стохастический характер и характеризуются вероятностными закономерностями, поэтому одним из основных средств решения задачи их анализа и проектирования является математическое моделирование.

Известна марковская модель линии такого класса [1], в основе которой положена итерационная процедура. Сущность этого метода заключается в следующем: производится модульное описание элементарных объектов на всех уровнях иерархии без учета влияния остальных (нулевая итерация, которая дает начальное приближение), а затем и с учетом взаимопроникновения накопительных элементов из одного модуля в другой. Итерационная процедура верхнего уровня включает процедуры всех нижних уровней.

Марковские математические модели объектов такого класса, применяемые с целью определения надежности и производительности ОАЛ, дают относительно неплохое приближение по данным параметрам, однако более

точными моделями, позволяющими использовать произвольные законы распределения, являются полумарковские. Методика построения полумарковских итерационных моделей ОАЛ приведена в [2].

Целью данной работы является описание общих принципов программной реализации последней модели.

Исходными данными для проведения расчетов являются функции распределения времен между отказами и восстановлений технологических ячеек, функции распределения времен обслуживания единицы продукции на ТЯ, а также емкости накопителей.

Алгоритм моделирования состоит в следующем [2].

1. На нулевой итерации рассматриваются системы массового обслуживания (СМО) типа G/G/1/K, в которые входят накопители только с присоединенными к ним ячейками, например, i -й Н и ТЯ с номерами $(i-1)$ и i (рисунок 2).

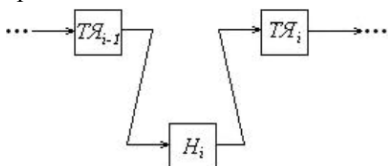


Рисунок 2 – Структура i -й СМО

Приближенно описание таких СМО производится при помощи метода непрерывных вероятностных приближений, а функции распределения длины очереди в накопителе определяются на основе стационарных решений уравнения

Фока-Планка третьего порядка [3]. Для этого определяются три первых момента распределения времени обслуживания каждой из ячеек, а далее эти величины используются для определения средней длины очереди $\bar{L}_i$. Подобную систему необходимо рассмотреть относительно каждого из накопителей линии. Таким образом, на нулевой итерации, которая дает начальное приближение, средние длины очередей в каждом из накопителей рассчитываются отдельно, без учета влияния на них всех остальных.

2. На первой и последующих итерациях уже производится учет влияния всех накопителей друг на друга. Рассмотрим, как и ранее, i -ю СМО ($i = \overline{2, n}$). Здесь необходимо эквивалентно заменить все участки ОАЛ (совокупность элементов типа ТЯ-Н [1]) простейшими элементами, что приводит структуры частей, стоящих до и после накопителя, к виду, показанному на рисунке 3 и представляющему собой цепь последовательно соединенных эквивалентных элементов $\Xi\Xi_j$ ($j = \overline{2, i-1, i+1, n}$).

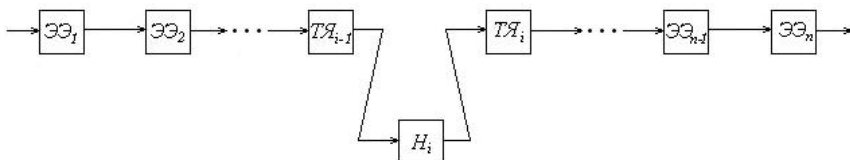


Рисунок 3 - Структура ОАЛ после замены участков простейшими $\Xi\Xi$

Далее надо эквивалентно заменить в целом обе части линии, стоящие до и после накопителя (т.е. две цепи последовательно соединенных простейших элементов) двумя простейшими элементами ($\Xi\Xi'_{i-1}$ и $\Xi\Xi'_i$), для которых определены функции распределения времен наработки на отказ, восстановление и обслуживания продукции (обе части заменяются аналогично), получив при этом структуру, показанную на рисунке 4.

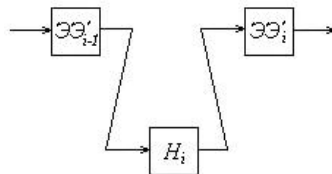


Рисунок 4 - Структура ОАЛ после второго эквивалентного преобразования

Затем производится эквивалентная замена простейших элементов $\Xi\Xi'_{i-1}$ и $\Xi\Xi'_i$, имеющих конечную надежность, абсолютно надежными, функционирование которых описывается только функциями распределения времени обслуживания, позволяющими определить параметры потоков поступления и обслуживания заявок в i -ю СМО. Последним этапом является определение средней величины длины очереди в i -м накопителе.

Итерационная процедура продолжается до тех пор, пока колебания длин очередей от итерации к итерации не станут меньше заданной точности вычислений

$$\left| \bar{L}_{i,j} - \bar{L}_{i,j-1} \right| \leq \delta ,$$

где δ – заданная точность вычисления; $\bar{L}_i$ – среднестатистический задел в i -ом накопителе; j – номер итерации.

После окончания итерационной процедуры, когда уже известны длины очередей и временные резервы накопителей на прием и на выдачу продукции, вся линия приводится к одному элементу с рассчитанными параметрами, в том числе и производительностью. Результаты расчетов предыдущих итераций являются исходными данными для последующих. Описанные выше эквивалентные преобразования частей ОАЛ приведены в [2].

Графически алгоритм моделирования можно укрупнено представить, как показано на рисунке 5.

Практическую реализацию рассмотренной модели можно осуществить при помощи специализированного программного комплекса (ПК), к которому, с учетом специфики решаемых задач, предъявляются следующие требования:

1) поскольку используются полумарковские модели с произвольными законами распределений случайных величин, которые можно охарактеризовать как достаточно сложные, содержащие большое число математических операций, например, таких, как дифференцирование и интегрирование функций, их свертка и др., то программа расчета должна являться спе-

циализированной математической средой, позволяющей организовать как

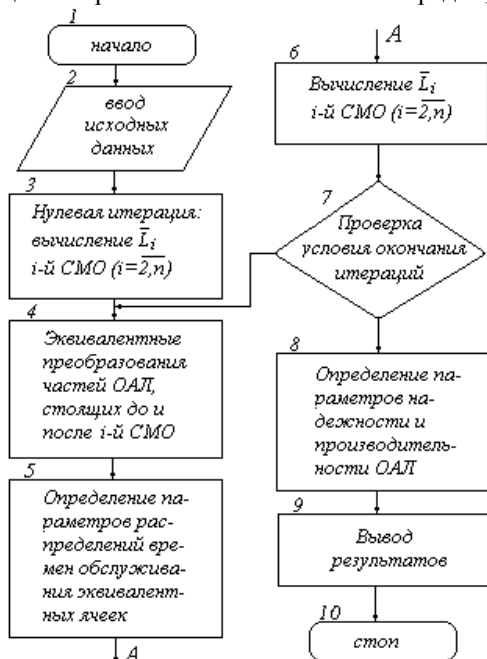


Рисунок 5 – Блок-схема алгоритма итерационной процедуры расчета ОАЛ

данные операции, так и известные вычислительные процессы (циклы, условия и т.д.);

2) предлагаемый ПК должен быть ориентирован на конечного пользователя – инженера-конструктора, не являющегося квалифицируемым программистом, а потому должен иметь удобный пользовательский интерфейс, вывод конечных и промежуточных результатов должен осуществляться в удобной наглядной форме.

Данным требованиям в полной мере отвечает математическая среда аналитических вычислений Maple v. 6 и выше. Данная программа является мощным компьютерным инструментом, позволяющим решать сложные математические задачи. Она вклю-

чает в себя средства, связанные со многими математическими областями (алгебра, дискретная математика, дифференциальное и интегральное исчисления, численные методы и др.), а также средства графического вывода, связи с внешними модулями и средства программирования.

Программа моделирования ОАЛ, реализованная в среде Maple, имеет блочную структуру и включает в себя следующие блоки:

1) ввод исходных данных, где производится определение законов распределения случайных величин, а также ввод их требуемых числовых характеристик и других величин, таких как емкость накопителей, число итераций, количество сверток;

2) расчет на нулевой итерации (начальное приближение длин очередей в накопителях);

3) итерационная процедура, представляющая цикл с постусловием, где реализованы указанные выше процедуры эквивалентных преобразований частей ОАЛ, а именно: моделирование сопряженных и основных участков и замена их эквивалентными элементами; расчет функций распре-

деления времен обслуживания единицы продукции группами ТЯ, стоящими до и после i -го ($i=2 \dots n$) накопителя; расчет эквивалентных замен частей линии, стоящих до и после i -го накопителя; формирование и определение параметров абсолютно надежных ячеек, стоящих до и после i -х накопителей; расчет средних длин очередей в накопителях;

4) расчет параметров надежности и производительности ОАЛ;

5) вывод промежуточных и окончательных результатов, а именно вывод в файл параметров надежности и производительности линии в целом, параметров надежности основных и сопряженных участков и средних длин очередей в накопителях, определенных после выполнения каждой из итераций процедуры.

Приведем пример моделирования ОАЛ, структура которой показана на рисунке 6.

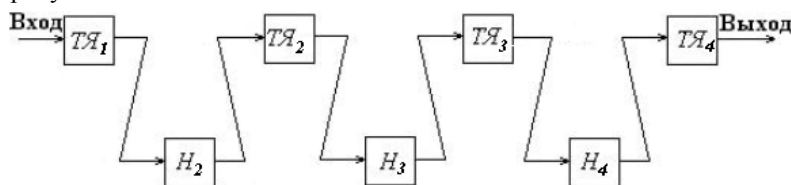


Рисунок 6 – Структура моделируемой ОАЛ

Принимается, что накопители являются абсолютно надежными с равными емкостями ($K=20$), времена восстановления ячеек распределены экспоненциально, а времена между отказами и времена обслуживания единицы продукции ТЯ распределены по обобщенным законам Эрланга второго порядка. Число выполняемых итераций равно трем (считая нулевую), порядок сверток функций равен 6. Исходные данные для моделирования приведены в таблице 1. Все параметры приведены в условных единицах (у.е.) времени.

Таблица 1 – Исходные данные для моделирования ОАЛ

Наименование параметров	Численные значения параметров			
	ТЯ ₁	ТЯ ₂	ТЯ ₃	ТЯ ₄
Математическое ожидание времени обслуживания, у.е.	0,31	0,03	0,31	0,32
Дисперсия времени обслуживания, у.е. ²	0,00064	0,0006	0,0006	0,00062
Математическое ожидание времени между отказами, у.е.	3			
Дисперсия времени между отказами, у.е. ²	6			
Математическое ожидание	0,2			

времени восстановления, у.е.	
------------------------------	--

Результаты моделирования представлены в таблице 2.
Таблица 2 – Результаты моделирования ОАЛ

Наименование параметра		Номер итерации		
		0	1	2
Средние длины очередей в накопителях, шт	H ₂	8,4	18,5	18,5
	H ₃	11,7	10,8	10,8
	H ₄	11,7	2,2	2,3
Коэффициент готовности ОАЛ		0,874	0,88	0,88
Производительность ОАЛ, шт/у.е.		27,33	27,5	27,5

Недостатком разработанной программы является длительное время расчета, что в целом обусловлено сложностью модели. Данный недостаток возможно устранить, например, двумя методами:

- 1) проводя промежуточную аппроксимацию функций распределения, получаемых в результате эквивалентных преобразований;
- 2) производя деление структуры линии на части с последовательным расчетом на каждой итерации этих частей в отдельности, а затем и в совокупности друг с другом.

Предлагаемый ПК объединяет математическое описание элементов различных иерархических уровней ОАЛ. Модульный принцип программы обеспечивает достаточную адаптивность к особенностям решаемых задач и позволяет использовать различные законы распределения случайных величин, близкие к реальным. Перспективой дальнейших исследований в данной области является разработка программного комплекса расчета более сложных автоматизированных систем, например, многопоточных сборочных линий.

Библиографический список

1. Пашков Е.В. Транспортно-накопительные и загрузочные системы в сборочном производстве / Е.В. Пашков, В.Я. Копп, А.Г. Карлов. — К.: УМК ВО, 1992. — 536 с.
2. Копп В.Я. Итерационный подход при построении полумарковских моделей асинхронных автоматизированных линий / В.Я.Копп // Вестн. СевГУ: Сб. науч. тр. — Севастополь, 2000. — Вып. 27. — С. 73–80.
3. Филипович О.В. Использование уравнения Фоккера-Планка при анализе СМО типа G/G/1/K. / О.В. Филипович, В.Я. Копп, М.В. Заморенов // Оптимизация производств. процессов: Сб. науч. тр. — Севастополь, 2000. — Вып. 3. — С. 56–60.

Поступила в редакцию 13.02.2004 г.