



Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический
университет

**АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ И
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ГИБКИХ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ЛИНИЙ**

Методические указания

к выполнению расчетно-графического задания
по дисциплине "Идентификация и моделирование
объектов автоматизации"

для студентов специальностей

7.092501 – Автоматизированное управление
технологическими процессами;

7.092502 – Компьютерно–интегрированные
технологические процессы и производства
дневной и заочной форм обучения

Заказ № _____ от " ____ " _____ 200 ____ . Тираж _____ экз.

Изд-во СевНТУ

Севастополь
2006

УДК 681.5.09

Анализ надежности и производительности гибких автоматизированных линий: Метод. указания к выполнению расчетно-графического задания по дисциплине "Идентификация и моделирование объектов автоматизации" /Разраб. В.Я. Копп, О.В. Филипович. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2006. – 36 с.

Целью методических указаний является обучение студентов проведению самостоятельного анализа структуры гибких автоматизированных линий (ГАЛ), оказание помощи в расчёте параметров их функционирования на персональных ЭВМ. Методические указания могут быть также полезны при выполнении анализа и синтеза структур ГАЛ в дипломных проектах.

Методические указания предназначены для выполнения расчетно-графического задания по дисциплине "Идентификация и моделирование объектов автоматизации" студентами специальностей 7.092501 – Автоматизированное управление технологическими процессами; 7.092502 – Компьютерно-интегрированные технологические процессы и производства.

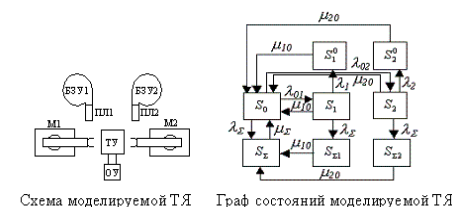
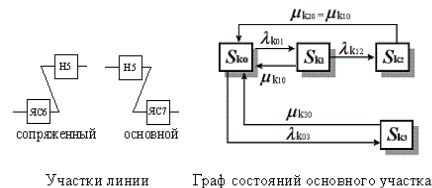
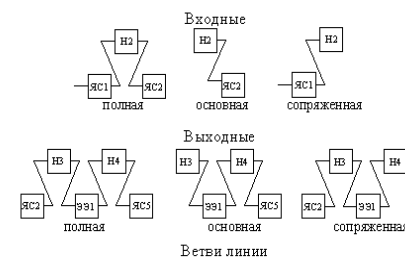
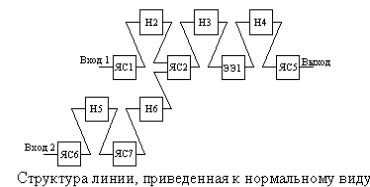
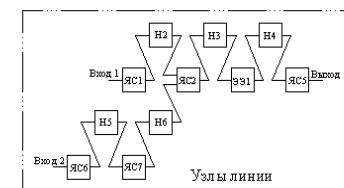
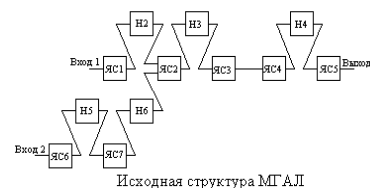
Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры "Автоматизированные приборные системы" 17 июня 2005 г., протокол № 12.

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний.

Рецензент: А.Г. Карлов, канд. техн. наук, доц. кафедры "Автоматизация технологических процессов и производств".

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Образец выполнения графической части РГЗ



ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Исходные данные для моделирования ячеек в составе линии

Таблица Б.1 – Исходные данные для моделирования ячеек

№ схемы	№ ячейки	Параметры БЗУ ₁		Параметры БЗУ ₂		Параметры элемента Σ		Длина очереди в ПЛ ₁ , ПЛ ₂	
		$\lambda_{01},$ $c^{-1} \cdot 10^{-5}$	$\mu_{10},$ $c^{-1} \cdot 10^{-4}$	$\lambda_{02},$ $c^{-1} \cdot 10^{-5}$	$\mu_{20},$ $c^{-1} \cdot 10^{-4}$	$\lambda_{\Sigma},$ $c^{-1} \cdot 10^{-5}$	$\mu_{\Sigma},$ $c^{-1} \cdot 10^{-3}$	L_1	L_2
1	7	5,55	4,76	5,56	4,73	5,55	5,56	5	7
2	8	8,31	5,86	8,33	5,84	0,83	4,17	5	7
3	8	11,09	7,25	11,11	7,23	1,11	2,78	5	7
4	6	13,85	9,45	13,88	9,45	1,38	4,17	7	5
5	7	11,09	6,72	11,11	6,67	1,11	5,56	7	5
6	7	8,31	7,5	8,33	7,50	0,83	5,56	7	5
7	6	6,90	8,90	6,94	8,89	0,69	6,94	8	6
8	6	5,52	11,70	5,55	11,67	0,55	5,56	8	6
9	4	6,90	10,30	6,94	10,28	0,55	4,17	8	6
10	1	8,28	8,92	8,33	8,89	0,83	5,56	6	8
11	9	11,10	7,80	11,11	7,50	1,11	4,17	6	8
12	4	8,30	6,15	8,33	6,12	1,11	2,78	6	8
13	6	5,50	3,92	5,55	3,89	0,55	2,78	4	3
14	9	6,90	6,20	6,94	6,12	0,69	5,56	4	3
15	9	8,30	11,70	8,33	11,67	0,83	6,95	4	3
16	4	5,50	6,20	5,55	6,12	0,55	4,17	3	4
17	3	9,70	6,20	9,72	6,12	0,97	2,78	3	4
18	2	5,50	10,30	5,55	10,28	0,55	5,56	3	4
19	7	13,88	10,56	13,88	10,56	1,38	6,95	9	10
20	1	11,10	8,34	11,11	8,34	1,38	4,17	9	10
21	7	8,33	7,00	8,33	6,95	1,38	5,56	9	10
22	6	13,80	11,20	13,88	11,12	1,38	6,95	10	9
23	5	12,50	10,20	12,5	10,00	1,25	2,78	10	9
24	9	12,50	10,50	12,5	10,56	1,25	4,17	10	9
25	8	12,50	10,90	12,5	10,84	1,25	2,78	12	11
26	6	4,10	7,30	4,16	7,23	1,25	6,95	12	11
27	7	4,12	9,32	4,16	9,73	1,38	2,78	12	11

Примечание. При произведении расчетов все параметры перевести в часы

СОДЕЖАНИЕ

1. Список принятых сокращений	4
2. Цель выполнения РГЗ	4
3. Структура и содержание РГЗ	4
4. Итерационная модель ОГЛ	6
5. Описание диалоговой программы расчета ОГЛ	13
6. Особенности моделирования МГАЛ	13
7. Моделирование процесса функционирования гибких технологических ячеек в составе ГАЛ	15
8. Эквивалентные преобразования элементов ГАЛ	20
Библиографический список	22
Приложение А. Исходные данные к расчету линии	23
Приложение Б. Исходные данные для моделирования ячеек в составе линии	34
Приложение В. Образец выполнения графической части РГЗ	35

1. СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АПС – автоматизированная производственная система
 ГАЛ – гибкая автоматизированная линия
 ОГАЛ – однопоточная гибкая автоматизированная линия
 МГАЛ – многопоточная гибкая автоматизированная линия
 ТЯ – технологическая ячейка
 ЯС – ячейка сборки
 Н – накопитель
 ТК – технологический комплекс
 СМО – система массового обслуживания

2. ЦЕЛЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РГЗ

Целью выполнения расчетно-графического задания (РГЗ) по дисциплине "Идентификация и моделирование объектов автоматизации" является обучение студентов проведению анализа структуры ГАЛ, получение навыков построения их математических моделей и расчета параметров их функционирования с использованием персональных ЭВМ.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ РГЗ

РГЗ выполняется в соответствии с заданием по варианту, определяемому последними двумя номерами зачетной книжки (см. приложения А, Б) и содержит текстовую и графическую информацию. Текстовой и расчетный материал оформляется в виде пояснительной записки (ПЗ), в состав которой входят следующие разделы:

1. Титульный лист.
2. Задание.
3. Содержание, в котором указываются наименования и номера начальных страниц всех разделов, подразделов и пунктов (если они имеют заголовков).
4. Перечень аббревиатур - условных обозначений, символов, единиц, сокращений и терминов (при необходимости).
5. Введение, состоящее из краткой характеристики рассматриваемого вопроса, обоснования актуальности темы и определения задачи исследования.
6. Основная (расчетная) часть.
7. Заключение.
8. Перечень ссылок.
9. Приложения, содержащие такой вспомогательный материал, как промежуточные математические выкладки и расчеты, таблицы вспомогатель-

Таблица А.3 – Варианты заданий

	Последняя цифра зачетной книжки										
	№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	Номер структурной схемы (таблица А.1)										
	Номер варианта исходных данных к расчету (таблица А.2)										
Предпоследняя цифра зачетной книжки	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	2	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	3	21	22	23	24	25	26	27	1	2	3
		21	22	23	24	25	26	27	8	9	10
	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	5	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		21	22	23	24	25	26	27	18	19	20
	6	21	22	23	24	25	26	27	4	5	6
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	7	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
		1	3	5	7	9	11	13	15	17	19
	8	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
	9	22	24	26	15	16	21	23	25	27	9
		21	23	25	27	19	22	24	26	8	15
	0	21	23	25	27	19	22	24	26	11	12
		22	24	26	12	13	21	23	25	27	9

Таблица А.2 – Исходные данные для расчетов

№	$\lambda_{01}, \text{с}^{-1} \cdot 10^{-5}$	$\mu_{10}, \text{с}^{-1} \cdot 10^{-4}$	$\lambda_{03}, \text{с}^{-1} \cdot 10^{-5}$	$\mu_{30}, \text{с}^{-1} \cdot 10^{-3}$	m, мест	t, с
1	5,56	4,73	5,55	5,56	15	65
2	8,33	5,84	0,83	4,17	15	90
3	11,11	7,23	1,11	2,78	15	95
4	13,88	9,45	1,38	4,17	17	180
5	11,11	6,67	1,11	5,56	17	120
6	8,33	7,5	0,83	5,56	17	90
7	6,94	8,89	0,69	6,94	20	60
8	5,55	11,67	0,55	5,56	20	72
9	6,94	10,28	0,55	4,17	20	45
10	8,33	8,89	0,83	5,56	25	36
11	11,11	7,5	1,11	4,17	25	35
12	8,33	6,12	1,11	2,78	25	28
13	5,55	3,89	0,55	2,78	40	36
14	6,94	6,12	0,69	5,56	40	54
15	8,33	11,67	0,83	6,95	40	72
16	5,55	6,12	0,55	4,17	30	60
17	9,72	6,12	0,97	2,78	30	36
18	5,55	10,28	0,55	5,56	30	90
19	13,88	10,56	1,38	6,95	20	72
20	11,11	8,34	1,38	4,17	20	120
21	8,33	6,95	1,38	5,56	20	90
22	13,88	11,12	1,38	6,95	15	60
23	12,5	10,00	1,25	2,78	15	240
24	12,5	10,56	1,25	4,17	15	60
25	12,5	10,84	1,25	2,78	20	36
26	4,16	7,23	1,25	6,95	30	29
27	4,16	9,73	1,38	2,78	40	36

Примечание. При произведении расчетов все параметры перевести в часы

ных числовых данных и др.

Фактически каждый пункт приведенного перечня разделов ПЗ, начиная с пятого, представляет собой самостоятельный этап выполнения работы. Остановимся кратко на содержании некоторых из этих этапов.

В разделе 6 для заданного варианта структуры автоматизированной линии необходимо произвести следующее:

1. Привести структуру МГАЛ к нормальному виду, используя эквивалентные преобразования, подробно рассмотренные ниже.

2. Выполнить структурный анализ линии, при этом указать:

- количество входов и выходов линии, количество технологических ячеек и накопителей;

- количество узлов;

- количество ветвей всех типов (в соответствии с классификацией, рассмотренной в [1]);

- количество участков ветвей.

Последние три подпункта необходимо выполнить с перечислением элементов, входящих в указанные структуры.

3. Произвести моделирование технологической ячейки линии (см. п. 7), имеющей структуру, показанную на рисунке 5,а, при этом определить параметры ее надежности: коэффициент готовности, интенсивности потоков отказов и восстановлений. Время обслуживания ячейкой единицы продукции принять равным времени обслуживания единицы продукции остальными ТЯ линии.

4. Осуществить расчет параметров функционирования линии, используя метод вложенных итераций. По результатам расчета, сведенным в таблицу, определить коэффициент готовности МГАЛ и ее производительность.

Исходными данными к расчету являются:

1. Структура МГАЛ.

2. Параметры функционирования ТЯ.

3. Параметры надежности составляющих элементов линии.

Варианты заданий и структур МГАЛ приведены в приложении А. Исходные данные для моделирования ТЯ приведены в приложении Б.

Следует отметить, что в РГЗ несколько раз возникает задача, связанная с решением систем линейных алгебраических уравнений. Решение можно выполнять как вручную, так и при помощи современных ЭВМ, например, с применением математического пакета аналитических вычислений Maple.

В заключении необходимо проанализировать полученные результаты и сделать вывод по результатам моделирования с учетом проверки условия окончания итерационной процедуры.

Графическая часть РГЗ содержит один лист формата А1, который включает в себя следующее:

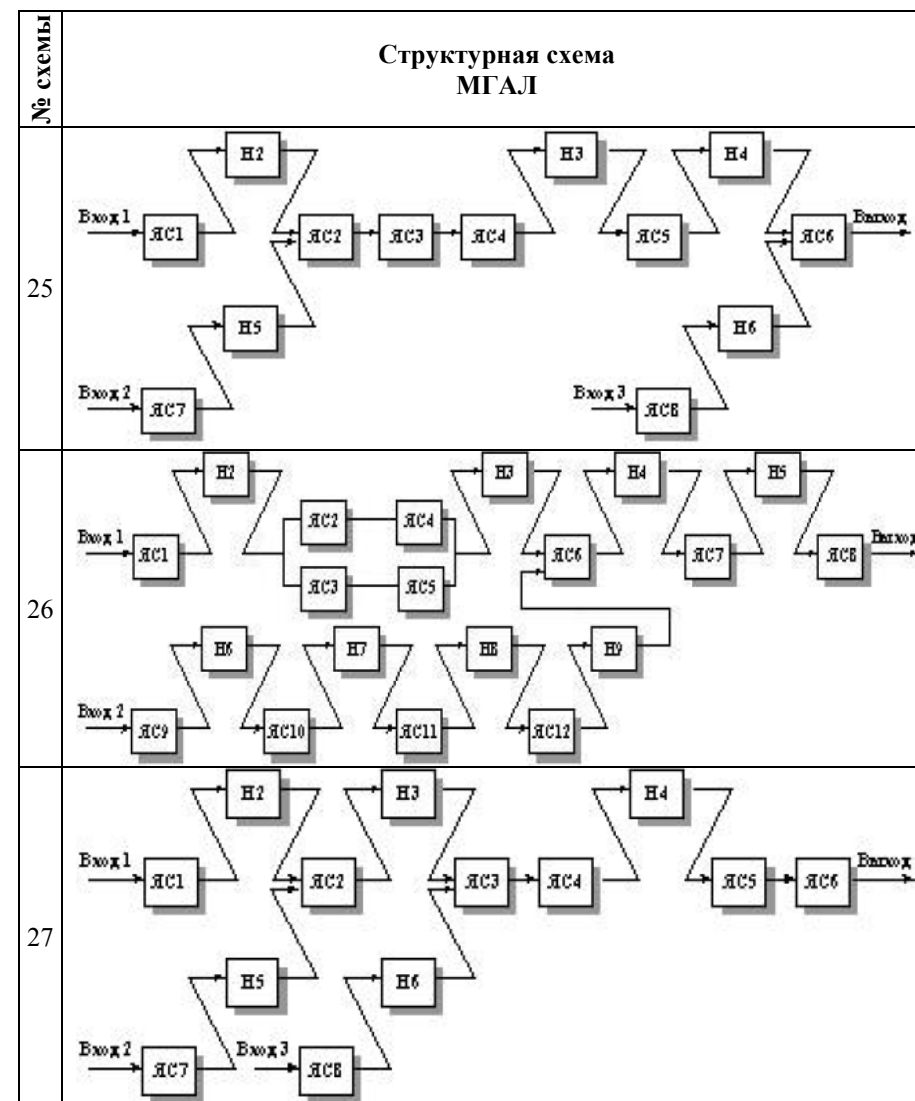
1. Исходную структуру линии.
 2. Структурная схема линии, приведенной к нормальному виду.
 3. Результаты выполнения структурного анализа линии.
 4. Структурная схема и граф состояний моделируемой ячейки.
 5. Графы состояний основного и сопряженного участков.
 6. Разбиение многопоточной линии на однопоточные (магистральную и полные входные ветви) с целью проведения нулевой и последующих итераций.
 7. Результаты проведения итерационной процедуры.
- Пример выполнения графической части РГЗ приведен в приложении В.

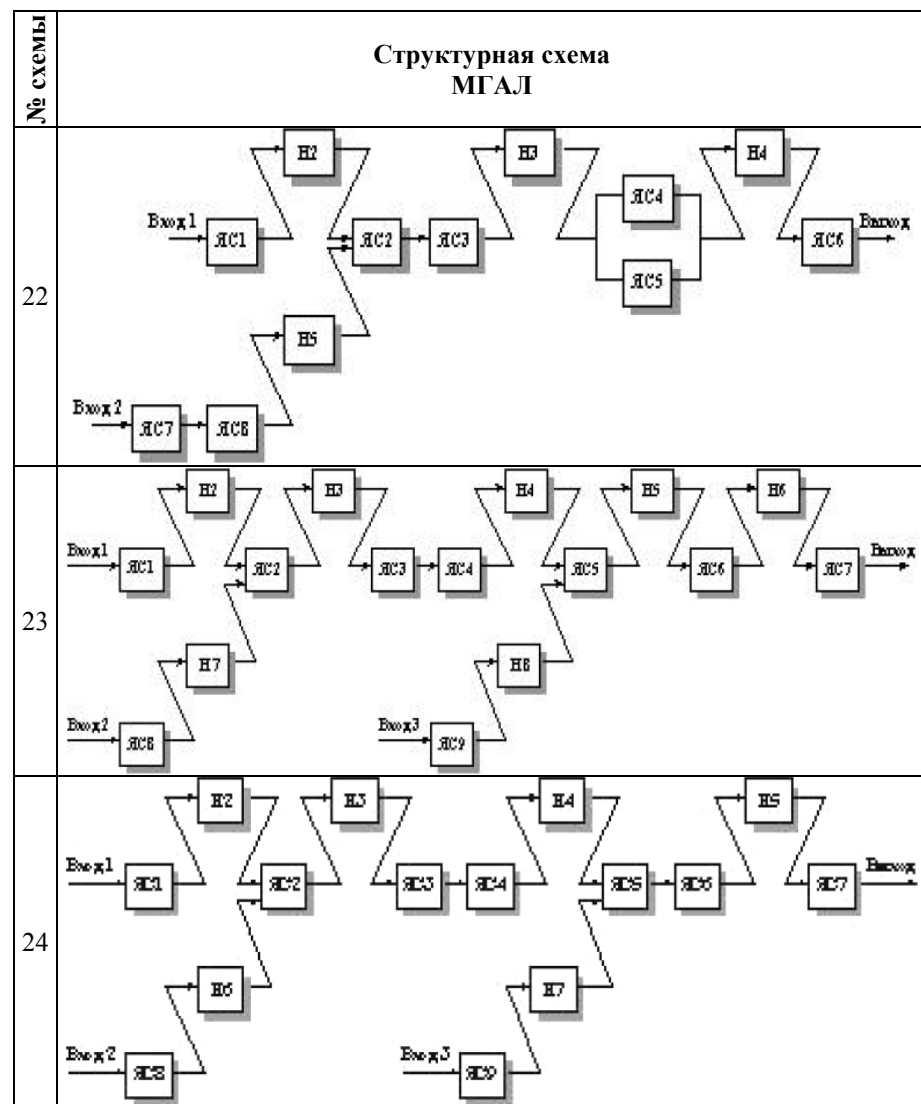
4. ИТЕРАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОГАЛ

В проектируемых и модернизируемых АПС, ядром которых являются автоматические и автоматизированные линии, кроме чисто технических аспектов (производительность отдельного технологического комплекса, его точностные характеристики, уровень универсальности, автоматизации и т.д.) следует учитывать и параметры надежности основного и вспомогательного технологического оборудования, которые в каждом отдельном случае использования конкретного оборудования определяются либо по аналогии с известными из литературы примерами, либо приближенными расчетными методами. Применительно к рассматриваемым объектам комплексное понятие гибкости имеет следующий смысл: во-первых, технологическая гибкость, или гибкость переналадок, характеризующая возможности быстрого перехода системы от выпуска одних изделий к выпуску других, во-вторых, гибкость резервирования, или гибкость живучести, проявляющаяся в сохранении системой своих функций при выходе из строя отдельных единиц оборудования, в-третьих, в некоторых АПС предусмотрена возможность оперативного изменения схемы материальных потоков для сохранения работоспособности системы при отказе, например, некоторых транспортно-накопительных или других устройств, что составляет основу структурно-организационной гибкости. Системы могут быть классифицированы как гибкие, если они по совокупности характерных признаков соответствуют содержанию отдельных компонент понятия гибкости. Примером гибких АПС являются гибкие автоматизированные линии, в которых отдельные технологические комплексы, например, ЯС, имеют различные времена обслуживания (обработки, сборки, окраски, упаковки и т.д.) единицы готовой либо промежуточной продукции [1,2].

Во многих случаях ГАЛ являются многопоточными, причем наиболее распространены сходящиеся структуры. Каждая ветвь МГАЛ может рассматриваться как однопоточная линия, что позволяет свести анализ всех возмож-

Продолжение таблицы А.1





ных структур МГАЛ к рассмотрению соответствующего количества ОГАЛ, приведенных к единой структуре - нормальному виду, в котором между любыми двумя ячейками имеется один накопитель промежуточной продукции. Дальнейшее подробное рассмотрение однопоточных линий имеет своей целью показать, каким образом параметры производительности и надежности исследуемой системы могут быть непосредственно рассчитаны на персональной ЭВМ при известных исходных данных.

Одной из широко используемых компоновок автоматических линий для выполнения различных технологических операций в АПС, включая и автоматизированную сборку, является компоновка, где процесс изготовления, либо сборки изделия осуществляется при последовательной передаче заготовки от предыдущего технологического комплекса к последующему одним транспортным потоком.

Компоновка самой линии может быть линейной или кареобразной, однако здесь исключено разделение либо встречное движение потока деталей либо кассет с деталями (узлами и т.д.).

Поскольку длительность операции на каждом из технологических комплексов автоматической линии разная, а параметры надежности их работы различны, между двумя отдельными технологическими комплексами вводится межоперационный накопитель и движение деталей осуществляется от предыдущего технологического комплекса к последующему только через накопитель.

Такие автоматизированные линии называют ОГАЛ нормальной структуры. Следует отметить, что все предлагаемые средства и методы моделирования ОГАЛ могут применяться независимо от того, какой именно технологический процесс осуществляется на той или иной конкретной линии. Обобщенная структура однопоточной линии показана на рисунке 1.

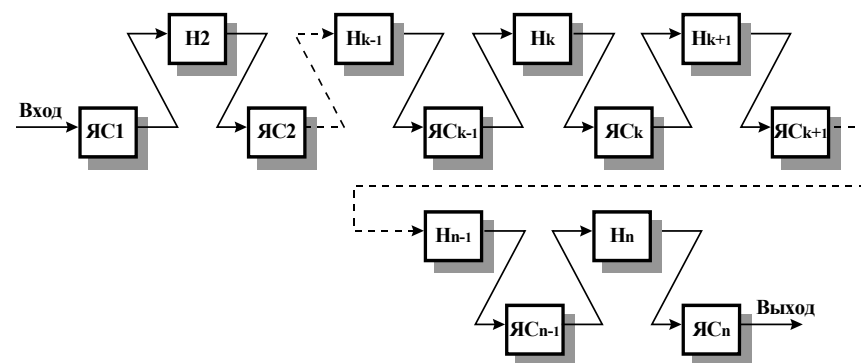


Рисунок 1 – Типовая структура ОГАЛ нормального вида

Межоперационные накопители необходимы также для буферного накопления деталей в момент выхода из строя одного или нескольких технологических комплексов. Емкости смежных с этими технологическими комплексами накопителей в течение некоторого времени принимают и отдают детали, сохраняя рабочий ритм остальных технологических комплексов, давая возможность использовать это время для ремонта вышедшего из строя оборудования. Таким образом, емкости накопителей оказывают непосредственное влияние на производительность ГАЛ. Опыт промышленной эксплуатации линий свидетельствует о том, что влияние накопителей на производительность линии достигает 30%, что является значительной величиной.

Для выполнения отдельной технологической операции какого-либо конкретного технологического процесса может быть предложена некоторая совокупность однозначных по технологическому назначению технологических комплексов, например, фрезерных, токарных, сборочных и т.д., которые, однако, различаются степенью универсальности и автоматизации, точностью и производительностью (в терминах теории массового обслуживания - временем обслуживания заявки, т.к. производительность есть величина обратная данному времени), а также надежностными характеристиками - интенсивностями потоков отказов и восстановлений. В случае, когда они работают совместно, т.е. параллельно, необходимо при моделировании учитывать их характеристики в составе одной технологической ячейки.

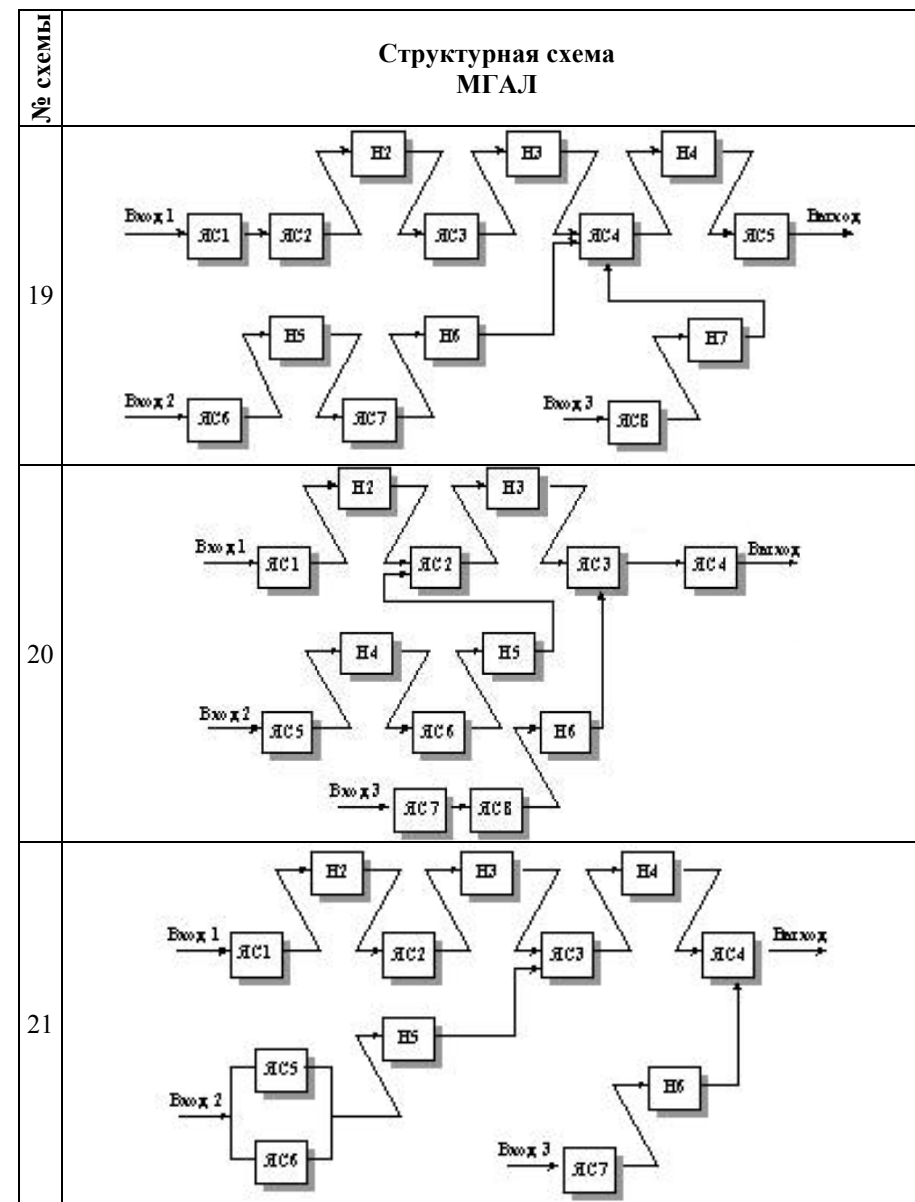
Таким образом, процесс моделирования функционирования ГАЛ сводится к расчету на персональной ЭВМ коэффициента готовности, производительности линии, средних длин очередей в накопителях, коэффициентов готовности основных и сопряженных участков по известным значениям:

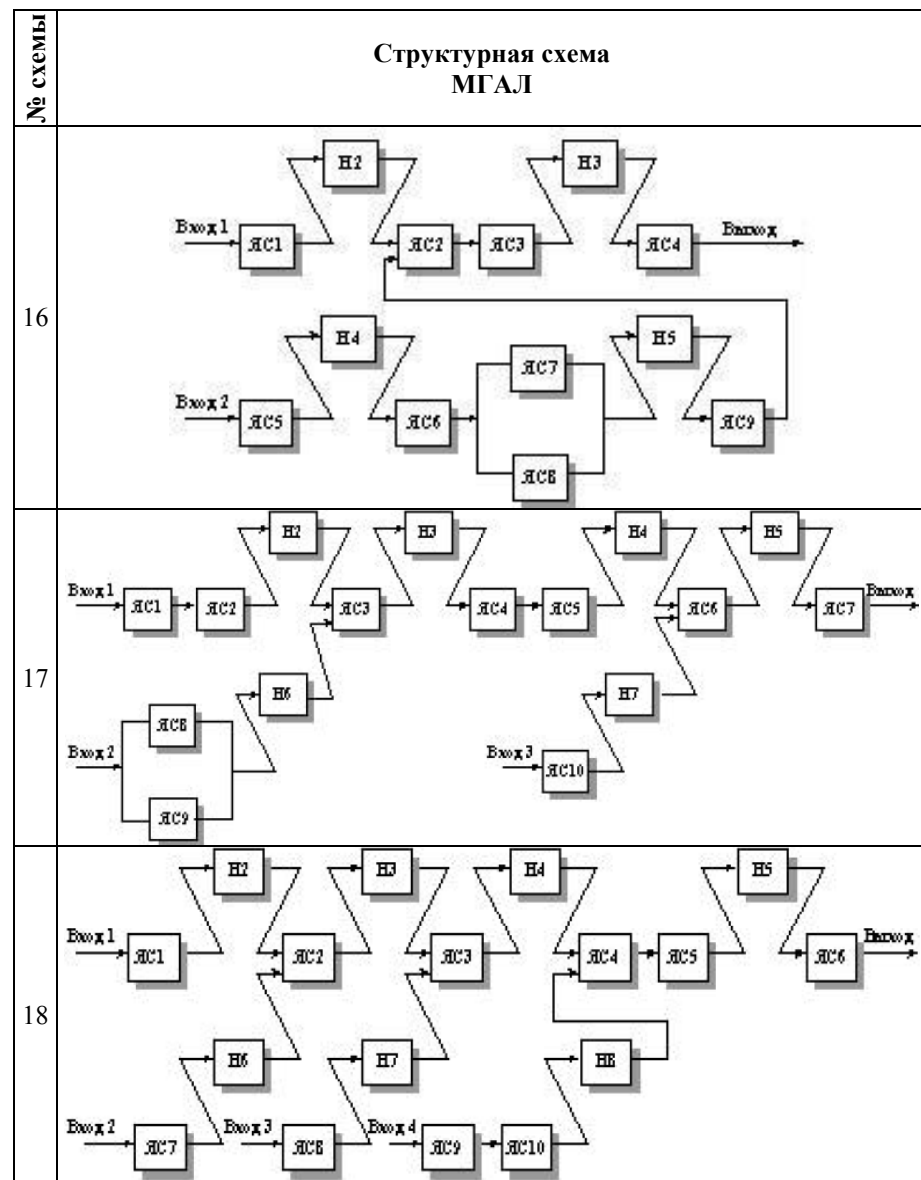
- количества технологических ячеек в линии после приведения, в случае необходимости, ее структуры к нормальному виду;
- интенсивностей потоков отказов и восстановлений отдельных технологических ячеек (роботизированных и автоматизированных комплексов, станков, обрабатывающих и сборочных центров, контрольных устройств и другого оборудования);
- емкостей межоперационных накопителей;
- времен обслуживания (т.е. обработки или сборки) деталей (узлов, кассет с деталями и т.д.) на каждой технологической ячейке, входящей в структуру ГАЛ.

Аналитико-вероятностное моделирование ГАЛ осуществляется с использованием метода вложенных итераций в соответствии с алгоритмом, приведенным в [1].

Математическая модель ОГАЛ включает в себя описание состояний двух участков, так называемого основного (рисунок 2,а), который состоит из

Продолжение таблицы А.1





k -го Н и стоящей непосредственно за ним k -й ТЯ, и сопряженного, включающего k -й накопитель и $(k-1)$ -ю, т.е. непосредственно предшествующую ему технологическую ячейку (рисунок 2,б).

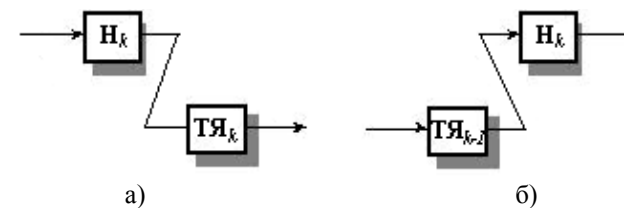


Рисунок 2 – Участки ОГАЛ:

а) основной; б) сопряженный

Подобными сочетаниями, которые образуют цепь, связующими звеньями которой являются накопители, можно охватить всю линию. Нумерация участков осуществляется по номерам накопителей.

Рассмотрим возможные состояния основного участка, представленные в виде размеченного графа, вершины которого - состояния S_k , а ребра - все возможные переходы между ними. Граф представлен на рисунке 3.

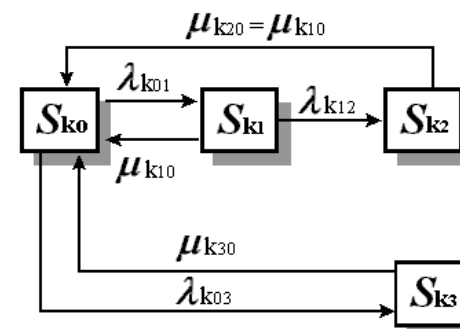


Рисунок 3 – Граф состояний основного участка

Состояния участка, показанные на графе.

1. S_{k0} - k -й технологический комплекс исправен, k -й накопитель исправен, участок находится в работоспособном состоянии.

2. S_{kl} - k -й технологический комплекс неисправен, k -й накопитель исправен и в нем есть свободные места, то есть $(m_k > L_k)$, где под m_k понимается количество мест в k -ом накопителе, а под L_k - средняя длина очереди в k -ом накопителе. В данной ситуации до тех пор, пока накопитель не заполнится полностью, имеется некоторый резерв времени для ремонта k -го технологи-

ческого комплекса без его остановки. Работоспособное состояние участка.

3. S_{k2} - k -й технологический комплекс неисправен, k -й накопитель исправен, но в нем нет свободных мест, т. е. $M_k=L_k$, участок находится в отказовом состоянии.

4. S_{k3} - k -й технологический комплекс исправен, k -й накопитель неисправен, участок находится в отказовом состоянии.

Принципиально возможен также одновременный выход из строя k -го технологического комплекса и k -го накопителя. Однако, в данном случае, этой возможностью можно пренебречь ввиду ее малой вероятности.

Интенсивности потоков, показанные на графе, следующие.

1. λ_{k01} – интенсивность потока отказов k -й технологической ячейки

$$\lambda_{k01} = \frac{1}{t_{om}},$$

где t_{om} – среднее время наработки на отказ ТЯ.

2. μ_{k10} – интенсивность потока восстановлений k -го технологической ячейки

$$\mu_{k10} = \frac{1}{t_{вос}},$$

где $t_{вос}$ – среднее время восстановления (ремонта) ТЯ.

3. λ_{k03} , μ_{k30} – интенсивности потоков отказов и восстановлений k -го накопителя.

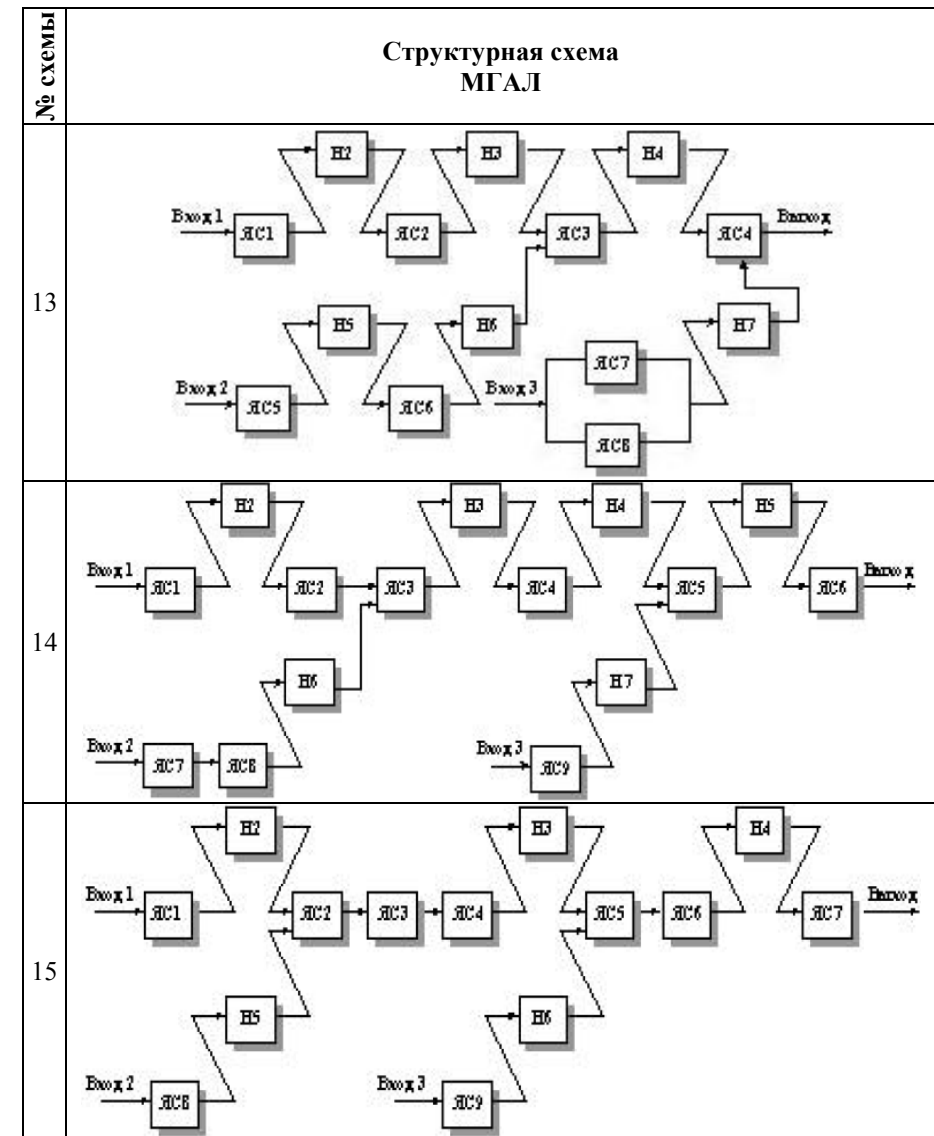
4. λ_{k12} – интенсивность прекращения работы k -го накопителя при его наполнении из положения S_{kl} (переполнение).

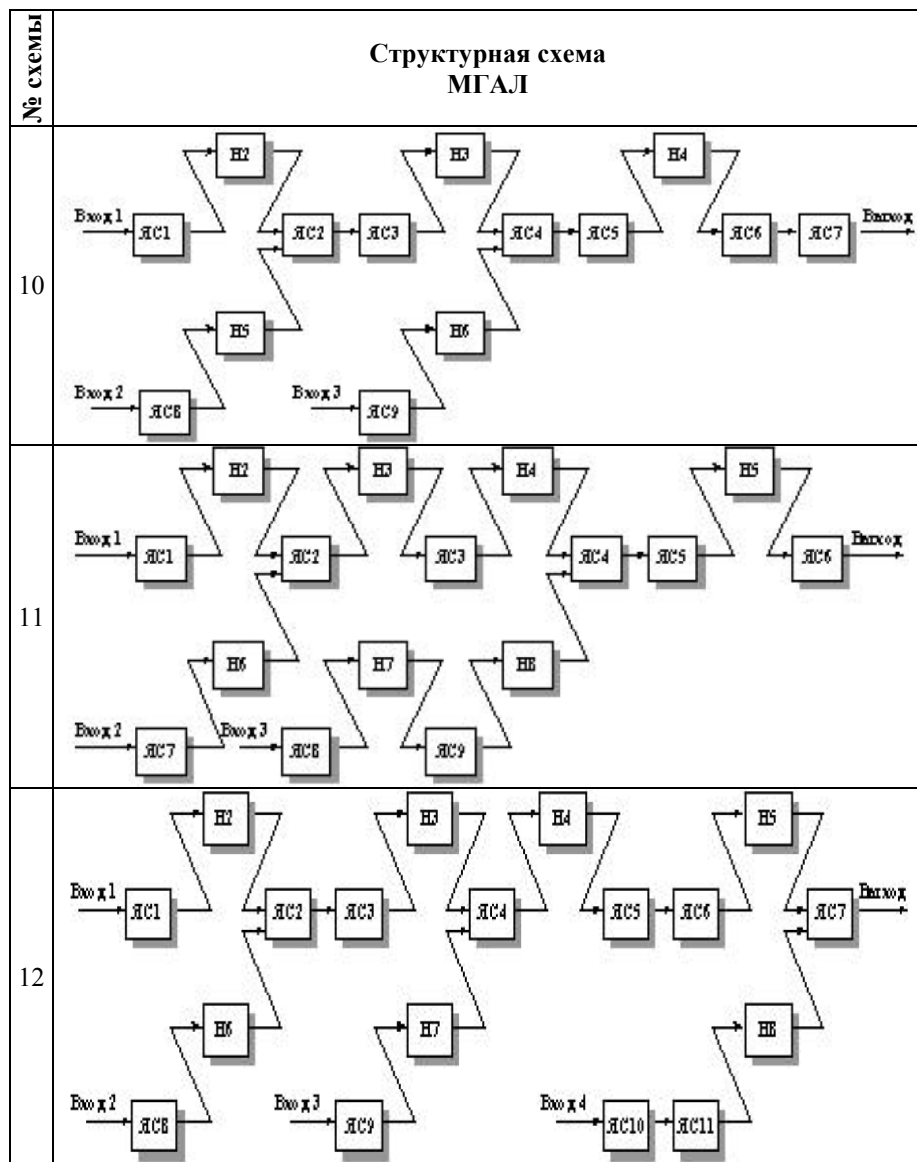
Для сопряженного участка ОГАЛ граф имеет аналогичный вид, отличия ограничиваются физической интерпретацией отдельных состояний (подробнее см. [1], Стр.62-67).

Для количественной оценки вероятностей нахождения участка в каждом из состояний используется понятие финальной вероятности состояния. Эти вероятности определяются из уравнений Колмогорова и для перечисленных состояний формулы приведены в [1] (см. формулы (1.18)...(1.21)). Работоспособность основного участка определяется его возможностью в данный момент принимать кассеты, то есть финальными вероятностями P_{k0} и P_{k1} . Работоспособность сопряженного участка определяется его возможностью выдавать кассеты, т.е. финальными вероятностями $\bar{P}_{k0}$, $\bar{P}_{k1}$. Обозначив P_k – коэффициент готовности основного участка, а $\bar{P}_k$ – коэффициент готовности сопряженного участка, можно записать

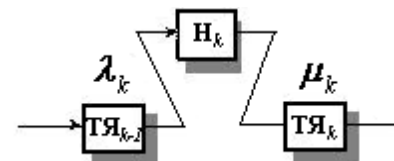
$$P_k = P_{k0} + P_{k1}; \bar{P}_k = \bar{P}_{k0} + \bar{P}_{k1}.$$

Продолжение таблицы А.1





Для расчета интенсивности прекращения работы k -го накопителя при его наполнении (опорожнении) λ_{k12} ($\bar{\lambda}_{k12}$), входящей в формулы для определения P_{ki} ($\bar{P}_{ki}$), используется итерационная процедура. Для каждого накопителя линии вводится в рассмотрение одноканальная система массового обслуживания с ограниченной очередью, структура которой показана на рисунке 4 (нумерация СМО производится по номеру накопителя).

Рисунок 4 – Структура k -й СМО

Интенсивность потока заявок λ_k , поступающих в систему, формирует технологическая ячейка $ТЯ_{k-1}$ с присоединенными к ней слева остальными частями ГАЛ. Интенсивность потока обслуживания заявок μ_k , находящихся в k -м накопителе ($Н_k$), формирует $ТЯ_k$ с частями линии, присоединенными к ней справа. Указанные интенсивности и средняя длина очереди в СМО определяются соответственно по формулам (1.24), (1.25), (1.26) из [1], причем в данные формулы входят коэффициенты готовности основных и сопряженных участков не входящих в рассматриваемую систему (P_j и $\bar{P}_j$, $j = 2, k-1, k+1, n$), значения которых на нулевой итерации принимаются равными единице, а на первой и последующих итерациях подставляются с предыдущих шагов.

Для основного участка интенсивность λ_{k12} определяется по формуле

$$\lambda_{k12} = \frac{\mu_{10(k-1)} \prod_{i=2}^{k-1} \bar{P}_i}{(m_k - L_k) t_{k-1 \max}},$$

где m_k и L_k - соответственно емкость и длина очереди в k -м накопителе; $t_{k-1 \max}$ - максимальное из средних времен обслуживания единицы продукции технологическими комплексами с 1-го по $(k-1)$ -й

$$t_{k-1 \max} = \max \{ \bar{t}_i, i = 1, k-1 \}.$$

Интенсивность $\bar{\lambda}_{k12}$ сопряженного участка определяется следующим

образом:

$$\bar{\lambda}_{k12} = \frac{\mu_{10(k)} \prod_{i=k+1}^n P_i}{\mu_{10(k)} + \lambda_{01(k)}},$$

где $t_{k \max}$ - максимальное из средних времен обслуживания единицы продукции технологическими комплексами с k -го по n -й

$$t_{k \max} = \max \{ \bar{t}_i, i = \overline{k, n} \}.$$

Зная λ_{k12} ($\bar{\lambda}_{k12}$) можно определить P_k ($\bar{P}_k$) и заменить участок простейшим эквивалентным элементом (ЭЭ) с двумя факторными состояниями (рабочим и отказовым), определив при этом интенсивности его отказов и восстановлений

$$\lambda_{\text{ээ}(k)} = \frac{P_{k0}}{P_{k0} + P_{k1}} \lambda_{k03} + \frac{P_{k1}}{P_{k0} + P_{k1}} \lambda_{k12};$$

$$\mu_{\text{ээ}(k)} = \frac{P_k}{1 - P_k} \lambda_{\text{ээ}(k)}.$$

Интенсивности эквивалентной замены сопряженного участка определяются аналогично. Подобную СМО необходимо рассмотреть относительно каждого накопителя линии.

В качестве критерия повторения итераций используется разность между средним числом деталей в накопителях, взятым с двух смежных итераций, при условии ее совпадения с заданной точностью вычислений [1,2]

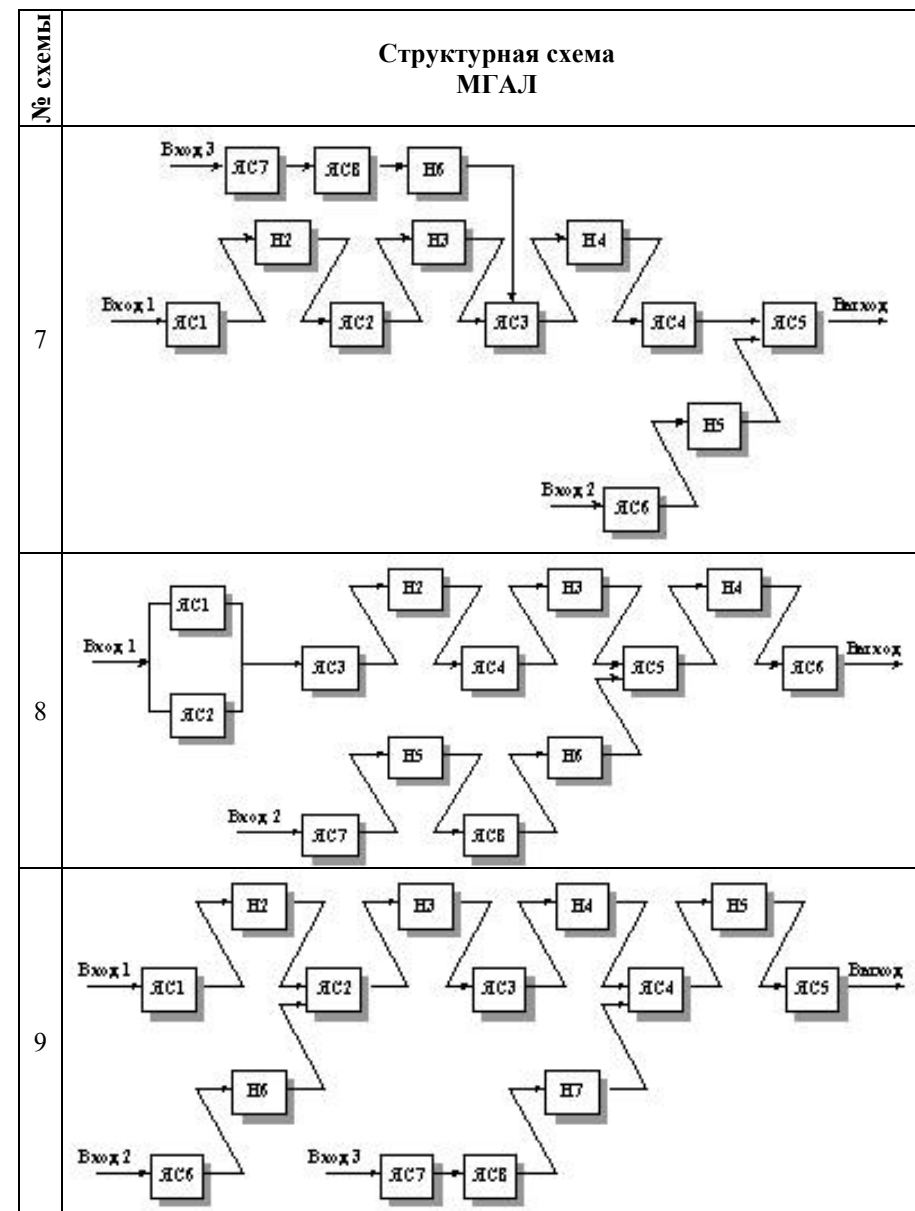
$$|\bar{L}_{i,j} - \bar{L}_{i,j-1}| \leq \delta,$$

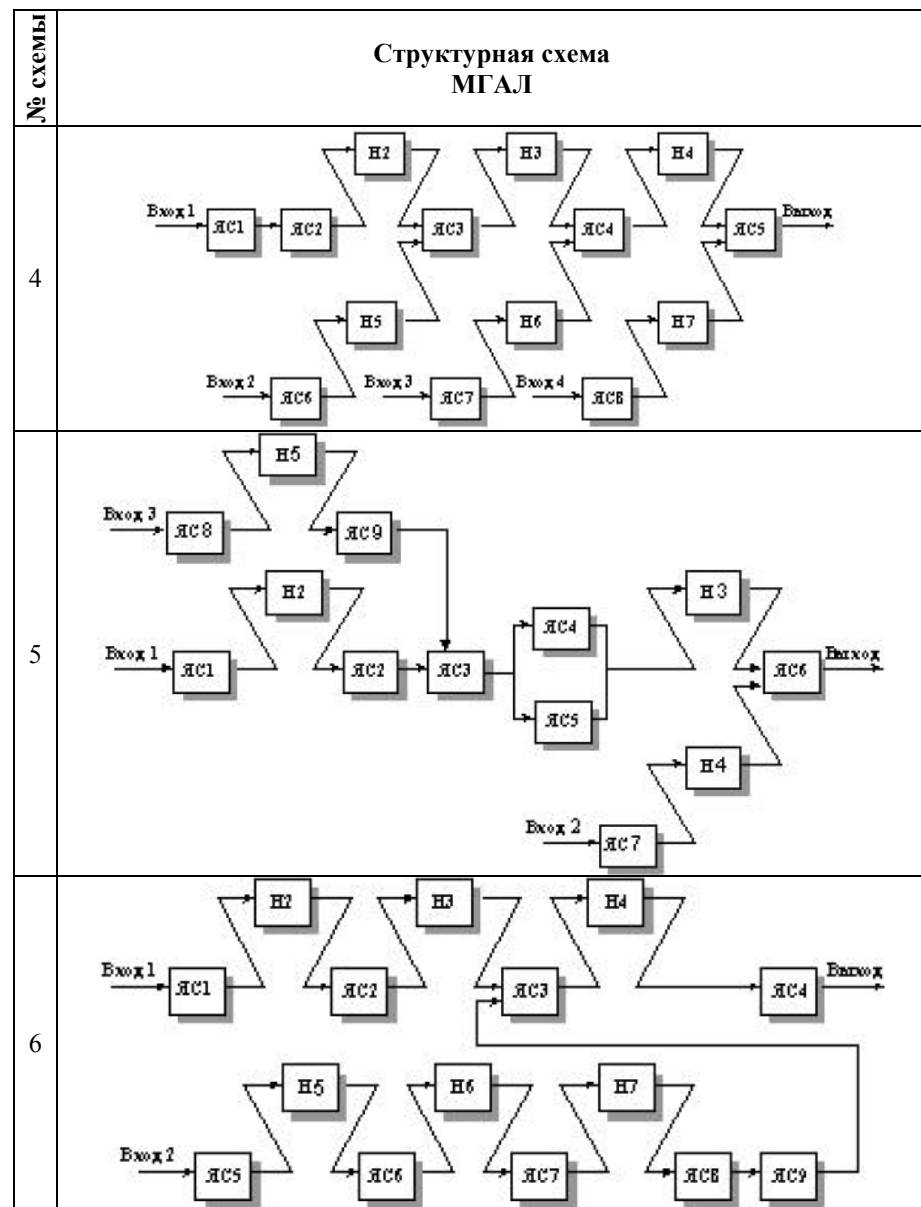
где δ - заданная точность вычисления; $\bar{L}_i$ - среднестатистический задел в i -м накопителе; j - номер итерации.

Коэффициент готовности линии и ее производительность определяют после окончания итерационного процесса по формулам (1.32), (1.33) из [1].

Модель предполагает, что на входе линия постоянно подпитывается кассетами (деталими, заготовками, узлами, подузлами и т.д.), а с ее выхода кассеты (детали и т.д.) непрерывно убираются, т.е. поступают на склад или на дальнейшие технологические операции без каких-либо задержек или отказов. Данная модель реализуется на ПЭВМ с помощью программы "onlined.exe", реализованной в среде Turbo-Pascal.

Продолжение таблицы А.1





5. ОПИСАНИЕ ДИАЛОГОВОЙ ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА ОГЛАЛ

1. Запуск программы осуществляется открытием файла "onlined.exe". Необходимо ввести количество используемых технологических комплексов $n9 = ______$ (по варианту своего задания). Далее программа запрашивает значения коэффициентов готовности элементов, стоящих до первого технологического комплекса (kgn) и после последнего комплекса (kg) линии.

2. После этого на экране монитора будут последовательно, по мере ввода предыдущего числа, появляться требуемые для работы программы параметры в следующей очередности:

$$\lambda_{k01}; \quad \mu_{k10}; \quad \lambda_{k03}; \quad \mu_{k30}; \quad m_k; \quad t.$$

Необходимо ввести данные своего варианта, нажимая после ввода каждого числа клавишу ENTER. При вводе параметров первой ячейки программа произведет запрос параметров первого накопителя, которого нет в структуре линии; параметры этого элемента выбираются произвольно и в расчетах не учитываются.

3. После ввода последнего числа на экране появится надпись "Нужна ли пошаговая печать: ДА – 1; НЕТ – 0". Необходимо ответить на вопрос программы (обычно 0) и произвести ее выполнение.

4. Результаты расчетов в соответствии с программой записываются в файл "resline.111". Файл результатов обновляется при каждом запуске программы, поэтому результаты предыдущего расчета, если они не зафиксированы, утрачиваются и для их восстановления необходимо заново повторить процедуру запуска программы и ввода исходных данных. Вывод результатов уже предусмотрен на тот же логический диск винчестера, на котором находится сам файл "online.exe".

5. Кроме повторения введенных параметров, по которым можно проверить правильность ввода, файл результатов содержит искомые параметры:

- $lmn[i]$ - средняя длина очереди в i -ом накопителе;
- $plin$ - коэффициент готовности линии;
- $pplin$ - производительность линии;
- $pn[i]$ ($p[i]$) - коэффициент готовности сопряженного (основного) i -го участка.

6. Для расчета линии с другими параметрами необходимо повторить действия, указанные в п.п. 1-5.

6. ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ МГАЛ

Общий подход к моделированию многопоточных автоматизированных линий с использованием итерационной процедуры приведен в [1,2].

Упрощенная процедура расчета используется в случае, когда узлы

МГАЛ расположены линейно друг относительно друга. Структура линии в этом случае разбивается на несколько составляющих – ветвей, одна ветвь, расположенная между произвольным (в большинстве случаев – первым) входом и выходом называется магистральной (ветвь первого типа). Остальные ветви, расположенные между входными и узловыми ячейками линии включительно являются полными входными ветвями (ветви второго типа). Следует отметить, что все рассмотренные выше ветви моделируются как однопоточные линии.

На нулевой итерации производится расчет ветвей обоих типов независимо друг от друга (моделирование каждой ветви ведется отдельно). На первой и последующих итерациях ведется учет взаимовлияния элементов МГАЛ друг на друга следующим образом:

1. Расчет ветвей второго типа значительно упрощается за счет того, что остальные части МГАЛ пристыкованы к их выходным ячейкам. Части линии, не входящие в моделируемую ветвь, заменяются эквивалентным элементом с коэффициентом готовности, равным произведению коэффициентов готовности основных и сопряженных участков (значения которых следует взять с предыдущей итерации) и присоединяются к моделируемой ветви (программно это осуществляется путем подстановки получившегося коэффициента готовности ЭЭ в коэффициент k_g).

2. Для выполнения расчета магистральной ветви необходимо произвести "сворачивание" оставшихся частей МГАЛ, руководствуясь эквивалентными преобразованиями (в данном случае – "сворачиванием" сопряженных участков, а также простейших элементов, соединенных последовательно [1]) и привести эти структуры к узловым ячейкам.

По окончании итерационной процедуры определяется коэффициент готовности всей МГАЛ и ее производительность

$$K_{Г\text{ МГАЛ}} = \frac{\mu_{10(n)}}{\mu_{10(n)} + \lambda_{01(n)}} \prod_{i=2}^n \bar{K}_{Г(i)};$$

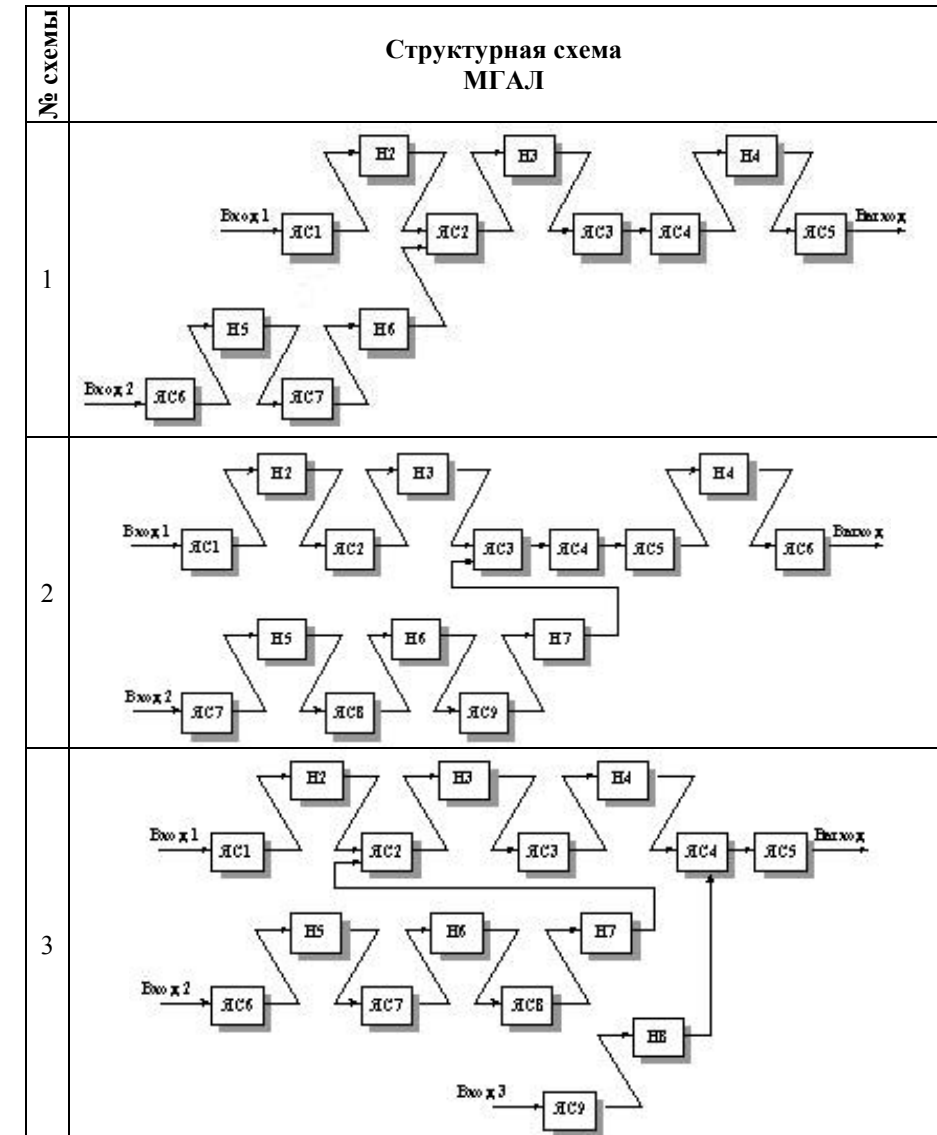
$$П_{\text{МГАЛ}} = \frac{1}{t_{\max}} K_{Г\text{ МГАЛ}},$$

где $\mu_{10(n)}$, $\lambda_{01(n)}$ – соответственно интенсивности потоков восстановлений и отказов n -й (последней) технологической ячейки; $\bar{K}_{Г(i)}$ – коэффициент готовности i -го сопряженного участка, значение которого следует взять с последней итерации ($i = \overline{2, n}$); $t_{\max}$ – максимальное из средних времен обслуживания единицы продукции ТЯ линии.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Исходные данные к расчету линии

Таблица А.1 - Варианты структур МГАЛ



Работоспособные состояния такой системы:

$S_0(P_0)$ – все ТЯ исправны;

$S_1(P_1)$ – ТЯ₁ неисправна; ТЯ₂ исправна;

$S_2(P_2)$ – ТЯ₂ неисправна; ТЯ₁ исправна.

Неработоспособное состояние системы – $S_3(P_3)$ (случай выхода из строя двух ТЯ).

Коэффициент готовности, интенсивности потоков отказов и восстановлений определяются следующим образом [2]:

$$K_{Г(ЭЭ)} = P_0 + P_1 + P_2,$$

$$\lambda_{ЭЭ} = \frac{P_1\lambda_2 + P_2\lambda_1}{P_0 + P_1 + P_2},$$

$$\mu_{ЭЭ} = \frac{K_{Г(ЭЭ)}}{1 - K_{Г(ЭЭ)}} \lambda_{ЭЭ},$$

где λ_i – интенсивность потока отказов i -й ТЯ ($i = \overline{1, 2}$). Последние формулы можно обобщить на случай n параллельно стоящих ТЯ.

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. Стохастические модели автоматизированных производственных систем с временным резервированием /В.Я. Копп, Ю.Е. Обжерин, А.И. Песчанский. – Севастополь: Изд-во СевГТУ, 2000. – 284 с.

7. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГИБКИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЯЧЕЕК В СОСТАВЕ ГАЛ

Эффективное применение аналитико-вероятностной модели ГАЛ возможно при наличии совместимых с ней математических моделей ТЯ, которые, стыкуясь с помощью межоперационных накопителей, образуют структурную линию.

ТЯ строят из типовых технологических и вспомогательных устройств. Модели ТЯ формируют исходные данные для расчета надежности и производительности работы всей ГАЛ.

Существует три варианта компоновок ТЯ, показанных на рисунке 5.

1. Накопительные элементы расположены после каждого загрузочного устройства (рисунок 5,а).

2. После некоторых из них (рисунок 5,б).

3. Отсутствуют вообще (рисунок 5,в).

Исследование функционирования ТЯ сводится к определению надежных параметров. Для этого строят графы состояний этих ячеек, изображенные на рисунке 6. Показанные на рисунке 5 ячейки построены на базе следующих элементов: бункерно-загрузочное устройство (БЗУ), подающий лоток (ПЛ), отводящее устройство (ОУ), технологический участок (ТУ), манипулятор (М). БЗУ с ПЛ в дальнейшем именуется автоматическим загрузочным устройством (АЗУ).

При построении математической модели принимают следующие допущения: как вся система, так и отдельные ее элементы могут находиться в работоспособном или в отказовом состояниях; потоки отказов элементов берутся пуассоновскими, а времена их восстановлений распределенными по экспоненциальному закону; на одновременный отказ двух или более БЗУ внимания не обращают. На рисунке 6 приведены графы состояний на основе анализа деревьев работоспособности и схем расчета надежности, представленных в виде ориентированных двухполюсных планарных графов. В качестве примера рассматривается построение графа состояний (рисунок 6,а), описывающего компоновку, изображенную на рисунке 5,а (число комплектующих деталей $m=2$). Следует отметить, что в данной схеме ПЛ рассматриваются как буферные участки накопления.

Желаемое событие "ТЯ работоспособна" обозначается S . Для того, чтобы это событие наступило, необходимо выполнение следующих условий: комплектующие детали должны поступать на ТУ, должен происходить технологический процесс (например, сборка). Для поступления каждой из комплектующих деталей на ТУ необходимо одновременное выполнение двух условий: ПЛ исправен; БЗУ исправен или БЗУ неисправен, но в ПЛ есть детали. Для удаления узлов необходимо выполнение условия: ОУ исправно.

Введенные буквенные сокращения на дереве работоспособности и на схеме расчета надежности условно обозначают случайные события – работоспособные состояния элементов. Событие, соответствующее отказу элемента, помечается чертой сверху. Случайные события на дереве работоспособности связаны между собой логическими звеньями конъюнкции ($\wedge$) и дизъюнкции ($\vee$).

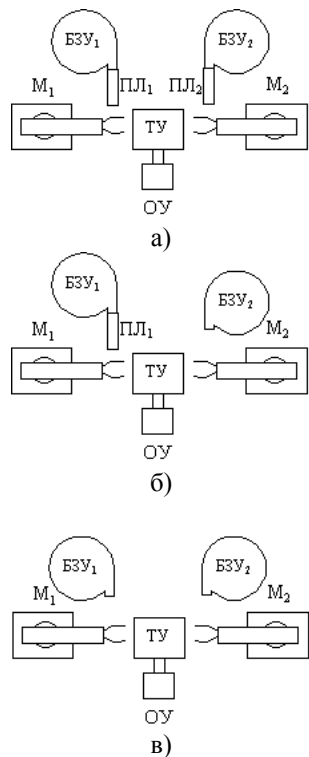


Рисунок 5 – Варианты компоновок ТЯ:
а – с накопительными элементами после каждого загрузочного устройства;
б – с накопительными элементами снабжена только часть загрузочных устройств (число комплектующих деталей $m=2$);
в – накопительные элементы отсутствуют

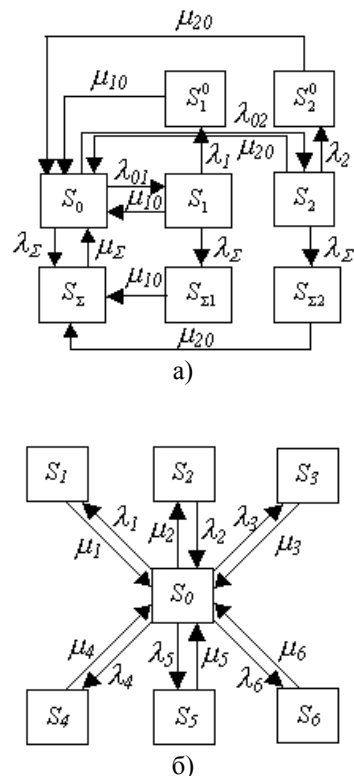


Рисунок 6 – Графы состояний:
а – для компоновки, показанной на рисунке 5,а;
б – для компоновки, показанной на рисунке 5,в

исправны). Все остальные состояния – отказовые.

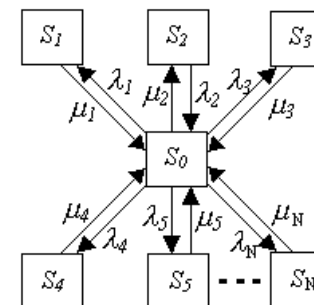


Рисунок 9 – Граф состояний системы n ТЯ, стоящих последовательно

Коэффициент готовности, интенсивности потоков отказов и восстановлений, а также время обслуживания единицы продукции эквивалентным элементом определяются по соответствующим формулам [1]

$$K_{Г(\varepsilon\varepsilon)} = P_0 = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i}}; \quad \lambda_{\varepsilon\varepsilon} = \sum_{i=1}^n \lambda_i,$$

$$\mu_{\varepsilon\varepsilon} = \frac{K_{Г(\varepsilon\varepsilon)}}{1 - K_{Г(\varepsilon\varepsilon)}} \lambda_{\varepsilon\varepsilon}, \quad t_{\varepsilon\varepsilon} = \max \{t_i\}, i = \overline{1, n},$$

где λ_i (μ_i) – интенсивность потока отказов (восстановлений) i -й ТЯ; t_i – время обслуживания единицы продукции i -й ТЯ.

В случае замены двух параллельно стоящих ТЯ граф состояний такой системы имеет вид, показанный на рисунке 10.

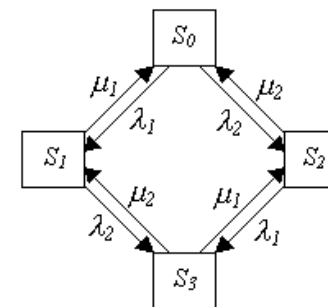


Рисунок 10 – Граф состояний системы двух параллельно расположенных ТЯ

$$\mu_{ТЯ} = \frac{K_{ГТЯ}}{1 - K_{ГТЯ}} \lambda_{ТЯ}.$$

Существуют и более сложные компоновочные схемы ТЯ, например, таких, в которых производится сборка m деталей ($m > 2$). Анализ показывает, что при математическом описании основное различие приведенных компоновок ТЯ – это наличие или отсутствие ПЛ, которые служат буферными участками. На практике наиболее часто сбои в ТЯ возникают в результате заклинивания детали в БЗУ или при переходе детали из БЗУ в ПЛ. Поэтому в качестве буферного накопителя может достаточно эффективно использоваться удлиненный участок ПЛ, подбором длины которого можно регулировать степень временного резервирования. При использовании буферизации сбои, возникающие в БЗУ или на переходе детали в ПЛ, значительно меньше влияют на эффективность работы ТЯ. Детали, накопленные в ПЛ, позволяют устранить возникающие сбои БЗУ без установки ячейки в целом.

8. ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ГАЛ

Встречаются структуры ГАЛ, в которых между двумя соседними накопителями расположены не одна, а несколько ТЯ. Для моделирования асинхронной линии ее структуру необходимо привести к нормальному виду. Таким образом, задача заключается в следующем: осуществить эквивалентную замену цепочки простейших элементов, стоящих параллельно или последовательно друг за другом (рисунки 8,а и 8,б соответственно), одним элементом.

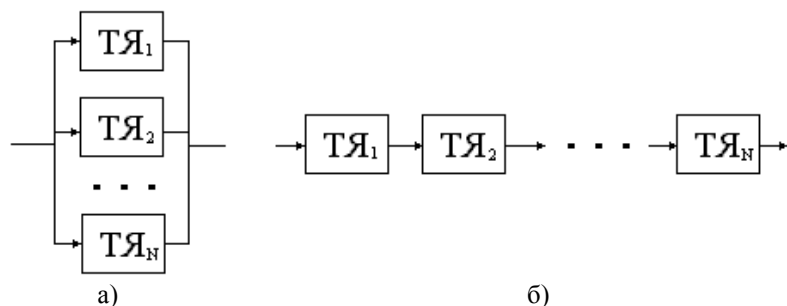


Рисунок 8 – Цепочки простейших элементов:
а) стоящих параллельно; б) стоящих последовательно

Для цепи последовательно стоящих n ТЯ граф состояний имеет вид, показанный на рисунке 9.

Работоспособным состоянием такой системы является S_0 (все n ТЯ

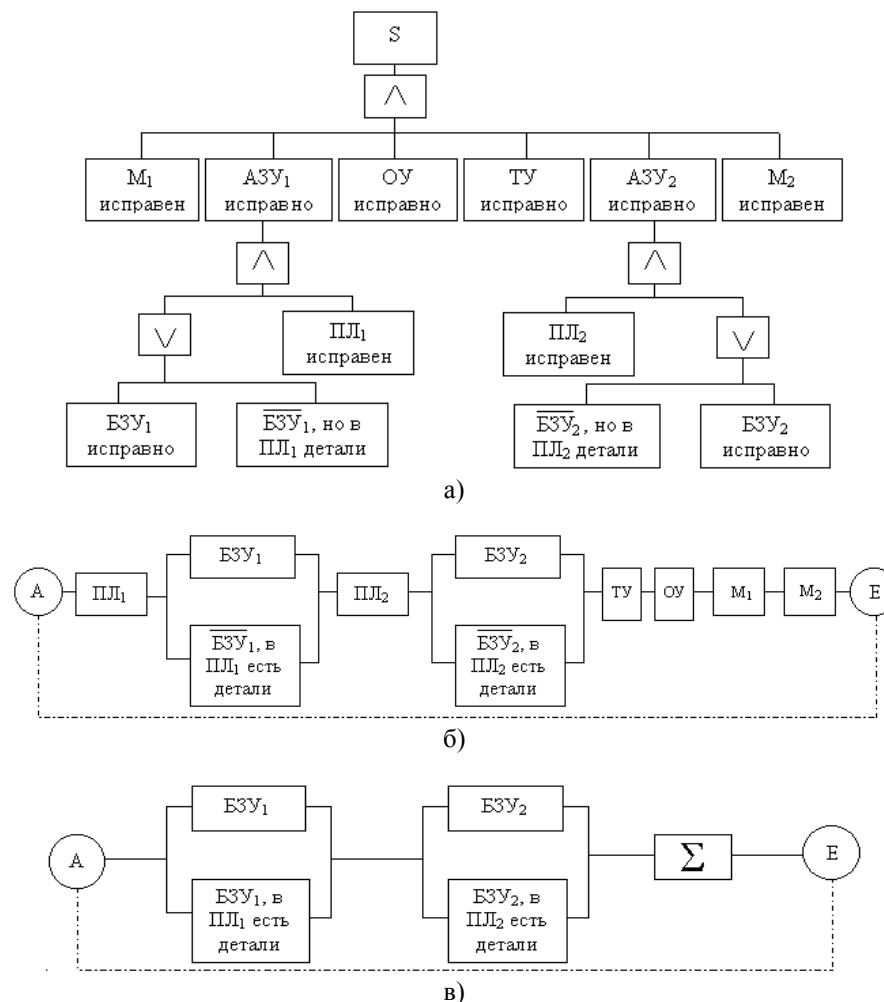


Рисунок 7 – Структурное определение надежности:
а – дерево работоспособности; б, в – предварительная и окончательная схемы расчета надежности соответственно

Построенное для рассматриваемой компоновки дерево работоспособности с вершинным событием S показано на рисунке 7,а. По дереву работоспособности строится схема расчета надежности (рисунок 7,б). Число работоспособных состояний ТЯ соответствует числу минимальных путей на этой

схеме между начальным узлом А и конечным узлом Е. Однако, учитывая введенные ранее допущения, из выбранных необходимо исключить пути, содержащие одновременный отказ более чем одного БЗУ.

В схеме расчета надежности по критерию работоспособности каждый путь определяет подграф, который соединяет начальный узел А с конечным узлом Е. Минимальным путем называется путь, уменьшение которого ведет к тому, что вершинное событие S не наступает.

Заменяя в схеме (рисунок 7,б) последовательно соединенные элементы ПЛ₁, ПЛ₂, ТУ, ОУ одним эквивалентным элементом Σ , получают окончательную схему расчета надежности, изображенную на рисунке 7,в.

Для эквивалентного элемента Σ интенсивности потоков отказов и восстановлений, а также коэффициенты готовности определяются следующим образом:

$$\lambda_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{m=6} \bar{\lambda}_i,$$

$$K_{\Gamma\Sigma} = \prod_{i=1}^{m=6} K_{\Gamma i} = \prod_{i=1}^{m=6} \frac{\bar{\mu}_i}{\bar{\mu}_i + \bar{\lambda}_i},$$

$$\mu_{\Sigma} = \frac{K_{\Gamma\Sigma}}{1 - K_{\Gamma\Sigma}} \lambda_{\Sigma},$$

где $\bar{\lambda}_i$ и $\bar{\mu}_i$ ($i = 1 \dots 6$) – соответственно интенсивности потоков отказов и восстановлений ПЛ₁, ПЛ₂, ТУ, ОУ, М₁, М₂.

Работоспособным состояниям ТЯ соответствуют три из восьми возможных, показанных на графе состояний (рисунок 6,а):

$S_0(P_0)$ – все элементы ТЯ исправны;

$S_1(P_1)$ – БЗУ₁ неисправно; ПЛ₁ исправен, в нем есть детали;

$S_2(P_2)$ – БЗУ₂ неисправно; ПЛ₂ исправен, в нем есть детали.

Неработоспособные состояния:

$S_1^0(P_1^0)$ – БЗУ₁ неисправно, ПЛ₁ исправен, но в нем нет деталей;

$S_2^0(P_2^0)$ – БЗУ₁ неисправно, ПЛ₁ исправен, но в нем нет деталей;

$S_{\Sigma}(P_{\Sigma})$ – отказ хотя бы одного из устройств, входящих в суммарный элемент, именуемый далее отказом суммарного элемента (ПЛ₁, ПЛ₂, ТУ, ОУ);

$S_{\Sigma 1}(P_{\Sigma 1})$, $S_{\Sigma 2}(P_{\Sigma 2})$ – отказ суммарного элемента при неисправном соответственно БЗУ₁, БЗУ₂.

В зависимости от дисциплины ремонта при одновременном отказе суммарного элемента и БЗУ _{i} ($i=1,2$), состояние $S_{\Sigma i}$ ($i=1,2$) возможен переход в состояние S_0 либо через S_{Σ} , где i – номер БЗУ. Переход из состояний $S_{\Sigma i}$

($i=1,2$) в состояния S_i^0 ($i=1,2$) исключается, поскольку если начинается восстановление, то восстанавливаются все элементы ТЯ. Однако указанная дисциплина ремонта не влияет на надежностные характеристики ячейки в целом (в частности, на коэффициент готовности) и переходы из состояний $S_{\Sigma i}$ в состояния S_i^0 не изображены на графе. На графе представлены следующие интенсивности потоков:

λ_{01} , λ_{02} – интенсивности потоков отказов соответственно БЗУ₁, БЗУ₂;

μ_{10} , μ_{20} – интенсивности потоков восстановлений соответственно БЗУ₁, БЗУ₂;

λ_1 , λ_2 – интенсивности прекращения работы ПЛ₁, ПЛ₂ при их полном опорожнении, определяемые по формулам

$$\lambda_1 = \frac{1}{L_1 t}, \quad \lambda_2 = \frac{1}{L_2 t},$$

где t – время обслуживания единицы продукции суммарным элементом (принимается равным времени обслуживания единицы продукции остальными ТЯ линии); L_1 (L_2) – средняя длина очереди в ПЛ₁ (ПЛ₂).

Система уравнений и нормировочное условие для определения финальных вероятностей имеют вид [1]:

$$\begin{cases} (\lambda_{01} + \lambda_{02} + \lambda_{\Sigma}) P_0 = \mu_{10} P_1 + \mu_{20} P_2 + \mu_{10} P_1^0 + \mu_{20} P_2^0 + \mu_{\Sigma} P_{\Sigma}; \\ (\mu_{10} + \lambda_1 + \lambda_{\Sigma}) P_1 = \lambda_{01} P_0; \\ (\mu_{20} + \lambda_2 + \lambda_{\Sigma}) P_2 = \lambda_{02} P_0; \\ \mu_{\Sigma} P_{\Sigma} = \lambda_{\Sigma} P_0 + \mu_{10} P_{\Sigma 1} + \mu_{20} P_{\Sigma 2}; \\ \mu_{10} P_{\Sigma 1} = \lambda_1 P_1; \\ \mu_{20} P_{\Sigma 2} = \lambda_2 P_2; \\ \mu_{10} P_1^0 = \lambda_1 P_1; \\ \mu_{20} P_2^0 = \lambda_2 P_2; \end{cases}$$

$$P_0 + P_1 + P_2 + P_1^0 + P_2^0 + P_{\Sigma} + P_{\Sigma 1} + P_{\Sigma 2} = 1.$$

Коэффициент готовности системы определяется по формуле

$$K_{ГТЯ} = P_0 + P_1 + P_2.$$

Интенсивности потоков отказов и восстановления ТЯ в целом соответственно определяются соотношениями

$$\lambda_{ТЯ} = \frac{P_0 \lambda_{\Sigma} + P_1 (\lambda_1 + \lambda_{\Sigma}) + P_2 (\lambda_2 + \lambda_{\Sigma})}{P_0 + P_1 + P_2},$$