

2879

A

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» (МАМИ)**

**В.А. Акимов
Т.Г. Крыжановская**

**Методические указания
к проведению практических работ
по дисциплине «Надежность информационных систем» для
студентов, обучающихся по направлению 230400.62
«Информационные системы и технологии»**

**Одобрено методической комиссией по направлению 230000
«Информатика и вычислительная техника»**

Москва-2013



110

004

Разработано в соответствии с Государственным образовательным стандартом ВПО 2009 г. для специальности подготовки 230400.65 на основе рабочей программы дисциплины «Надежность информационных систем»

Рецензенты:

Ген. директор Института информационных технологий, д.т.н. Зубков В.Г.,

Доцент кафедры «Информационные системы и дистанционные технологии» Университета машиностроения к.т.н. А. А. Туманов

Работа подготовлена на кафедре «Информационные системы и дистанционные технологии»

Учебное пособие состоит из четырех частей: часть 1. Обеспечение надежности при проектировании технических систем.; часть 2. Показатели надежности.; 3. Расчет надежности технических систем.; часть 4. Практические работы.

© В.А. Акимов, Т.Г. Крыжановская

© Университет Машиностроения

Предисловие

До 19 века создание и промышленное использование различных технических объектов происходило преимущественно в области механики, вопросы надежности решались индивидуально, интуитивно, эмпирически, преимущественно увеличением прочности используемых материалов, совершенствованием конструкций, элементарным резервированием. Однако с наступлением эры электричества, создания электромеханических устройств, измерительных приборов, электротехнических и других систем проблема обеспечения надежности впервые заставила задуматься о ней ученых, инженеров и экономистов всерьез. Из-за существенного увеличения объемов и сложности аппаратуры начали широко проявляться негативные последствия отказов. Затраты на ремонт и профилактическое обслуживание аппаратуры, стали в несколько раз превышать ее изначальную стоимость. Так по данным США, в конце сороковых годов 20 века в результате испытаний выяснилось, что около 70 % корабельной радиоэлектронной аппаратуры, 60 % самолетного оборудования оказались неисправными и почти половина запасных комплектов вышли из строя при хранении.

Новый толчок к развитию теории и практики надежности стимулировала развитие военной техники, авиации, космоса. В настоящее время теория надежности не теряет своей актуальности и используется во многих областях техники, включая и информационные технологии. Ее обусловлена в основном следующими причинами: ростом сложности технических систем, возрастающей «ценой» отказа, сложностью условий, в которых эксплуатируются и применяются технические системы, повышением степени механизации и автоматизации, полным или частичным исключением из процесса управления человека- оператора.

Требования по обеспечению надежности функционирования и доступности информации обязательно учитывается при создании больших информационных систем (ИС), сложных иерархических сетей передачи данных с пакетной коммутацией и различными протоколами обмена данными, систем управления сложными ответственными объектами, автоматизированных систем управления (АСУ), информационных и интернет технологий.

Теория надежности - наука о методах обеспечения и сохранения надежности при проектировании, изготовлении и эксплуатации объектов (технических систем и их элементов) с требуемой

эффективностью. Основной задачей теории надежности является разработка **количественных методов** оценки надежности и определение наиболее рациональных методов обеспечения требуемого уровня надежности создаваемых и вводимых в эксплуатацию объектов. Характерной чертой теории надежности является то, что процесс обеспечения надежности рассматривается как единый процесс, охватывающий этапы проектирования, разработки, серийного производства и эксплуатации и заключающийся в создании и внедрении необходимых мероприятий и регламентов, направленных на достижение требуемого уровня надежности при минимальных затратах.

В развитии теории надежности выделяется два основных направления. Первое связано с разработкой методов обеспечения и расчета надежности техники, второе — с разработкой методов проектирования высоконадежных систем, обычно называемое *проектированием или синтезом систем по надежности*.

1 Обеспечение качества и надежности при проектировании технических систем.

1.1 Понятие качества и надежности. Роль надежности в обеспечении качества.

Основным параметром изделия с точки зрения потребителя является его качество.

Определение: *Качество* — совокупность свойств продукции или технических средств, которая позволяет оценить пригодность продукции удовлетворять определенным потребностям в соответствии с её назначением.

Качество-сложное свойство. Для количественного описания качества технических систем существуют показатели качества. Эти показатели принято делить на группы:

1. Показатели назначения, которые характеризуют способность технической системы выполнять свою целевую функцию. Их иногда называют тактико-технические показатели (ТТХ).
2. Эргономические показатели, которые характеризуют удобство взаимодействия человека с техникой.

3. Показатели надежности-являющиеся предметом изучения данного курса.

4. Технические показатели, которые характеризуют технические свойства изделия или системы в процессе эксплуатации. Их иногда называют эксплуатационно-технические характеристики (ЭТХ).

Показатели экологические, безопасности, технологичности, производительности, эффективности и т.д.

Определение: *Безопасность* — важнейшее свойство технической системы (ТС) характеризующее способность ТС сохранять безопасное для персонала состояние при соблюдении установленных правил эксплуатации.

Одним из качеств изделия является надежность — особое свойство, которое определяет стабильность всех других свойств.

Определение: *Надежность* (по ГОСТ 27002.89) — свойство объекта сохранять во времени и в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортировки.

1.2 Объект изучения теории надежности.

Объектом изучения теории надежности являются **технические системы (ТС)** и их составные части, рассматриваемые в процессе проектирования, производства, эксплуатации, изучения, исследования и испытаний на надежность. В понятие «объект» могут быть включены как аппаратные средства, так и информация и ее носители, а также человек и так называемый человеческий фактор, например при рассмотрении человеко-машинных систем.

В теории надежности все термины условно можно разделить на 4 группы: **объекты; свойства; состояния; события.**

1.2.1. Объекты

Объект — предмет определенного целевого назначения. В зависимости от цели исследования предметом изучения в теории надежности могут быть неделимые объекты — элементы и

совокупности взаимосвязанных объектов — системы. Один и тот же объект в зависимости от условий исследования может рассматриваться и как элемент, и как система.

Система — совокупность совместно действующих элементов с определенными связями, предназначенная для выполнения определенных функций.

Элемент — составная часть системы, которая имеет самостоятельную характеристику надежности, используемую при расчетах и выполняющую определенную частную функцию в интересах сложного объекта, который по отношению к элементу представляет собой систему.

Например, процессор в составе компьютера выполняет роль элемента, хотя с точки зрения разработчика интегральных микросхем он безусловно является системой. Из приведенного примера видно, что в зависимости от уровня решаемой задачи определенный объект может в одном случае быть системой, а в другом — элементом.

Информационная система с точки зрения теории надежности представляет собой совокупность рабочих станций, коммутационного оборудования, каналов связи, программ, контрольно измерительных и исполнительных механизмов, интерфейсов и аппаратуры управления, объединенная общим производственным процессом.

1.2.2. Свойства

Надежность является комплексным свойством ТС, которое включает 4 других свойства: *безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость*.

Для количественной оценки характеристик сложной техники используют числовые характеристики, которые определяют уровень конкретного свойства. Эти числовые характеристики называют **показателями**.

Показатели характеристик выражают в виде вероятностей превышения заданного уровня или гарантированного значения, которое случайная величина, выбранная в качестве исходного показателя качества технической системы, превысит или не достигнет с заданной вероятностью.

Определение: Безотказность — свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки.

Показатели безотказности: вероятность безотказной работы, средняя наработка до отказа, гамма-процентная наработка до отказа, средняя наработка на отказ, интенсивность отказов, параметр потока отказов.

Определение: Долговечность — свойство объекта сохранять работоспособное состояние при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Показатели долговечности: средний ресурс, гамма-процентный ресурс, средний срок службы.

Определение: Ремонтпригодность — свойство объекта, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта.

Показатели ремонтпригодности: вероятность восстановления работоспособного состояния, среднее время восстановления работоспособного состояния. В ряде случаев показатели ремонтпригодности в нормативно-технической документации относятся к регламентируемым условиям ремонта.

Определение: Сохраняемость — свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способность объекта выполнять требуемые функции, в течение и после хранения и/или транспортирования. Сохраняемость можно рассматривать как безотказность в режиме транспортировки и хранения. **Показатели сохраняемости:** средний срок сохраняемости, гамма-процентный срок сохраняемости.

Живучесть — свойство объекта продолжать нормальное функционирование с допустимыми показателями эффективности при непрогнозируемых воздействиях.

1.2.3. Состояния

Различают пять основных видов технического состояния объектов:

исправное состояние — это состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

неисправное состояние – это состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

работоспособное состояние – это состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

неработоспособное состояние – это состояние объекта, при котором значения хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

предельное состояние – это состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Каждое из рассмотренных состояний характеризуется совокупностью значений численных параметров или качественных признаков, для которых не применяют количественные оценки.

1.2.4. События

С точки зрения теории надежности события, происходящие в технической системе, имеют случайную природу и подчиняются законам теории вероятности, теории вероятности, математической статистике, теории случайных процессов, математической логике и другие математические дисциплины. Используя математический аппарат, теория надежности позволяет использовать аналитические методы прогнозирования поведения технической системы в процессе проектирования и эксплуатации, а также проверять полученные данные путем проведения испытаний проводимых на основе теории планирования эксперимента.

Событие – переход объекта из одного технического состояния в другое. Одним из важнейших понятий теории надежности является **отказ** – это событие, состоящее в нарушении работоспособного состояния объекта, когда один или несколько параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции, выходит за заданные пределы. Существуют два основных типа отказов: внезапные и постепенные. *Внезапные* (случайные) отказы

характеризуются скачкообразным изменением параметров, что может быть вызвано обрывами или замыканиями проводников в электрических цепях и т.п. *Постепенные*, происходящие в результате износа и старения объекта.

1.3 Жизненный цикл изделия и методы обеспечения надежности на различных его этапах.

Обычно новое изделие проходит так называемый “жизненный цикл” (см рис.1) который включает все стадии которое оно проходит от возникновения концепции изделия, до его утилизации.

Определение: *жизненный цикл изделия - совокупность фактических состояний объекта, например автоматической системы, и возникающих событий, способствующих переходу в новое состояние.*

Жизненный цикл объекта, протекает во времени и имеет определенные закономерности, изучаемые в теории надежности. Жизненный цикл делят на отдельные этапы (стадии), отличающиеся своими специфическими чертами, в том числе и особенностями задач, связанных с обеспечением надежности и эффективности.

Жизненный цикл изделия или системы

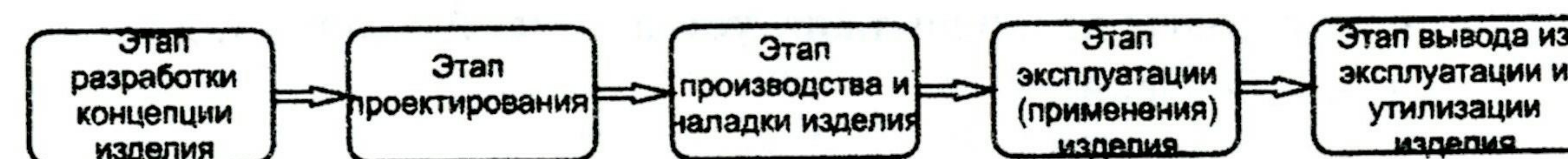


Рис.1 Основные этапы жизненного цикла изделия

Современные подходы к управлению производством требуют, чтобы **надежность изделия или системы обеспечивалась на всех стадиях ее существования от «проектирования» до «утилизации».**

Жизненный цикл любого изделия можно разделить на этапы: разработки идеи, конструирования, производства, эксплуатации и утилизации. Очевидно, что ключевым, главным этапом является эксплуатация. Понятие «эксплуатация» включает в себя, кроме применения по назначению, техническое обслуживание, ремонт, хранение и транспортирование.

Основные этапы жизненного цикла:

1. Этап осознания необходимости разработки изделия и разработки общей концепции изделия или системы.

Этот этап характеризуется:

- осознанием и изучением вновь сложившейся или изменившейся потребности в новом техническом средстве;
- возникшей возможностью использования новых материалов, технологий, конструкторских решений, достижений фундаментальной и прикладной науки, накопленного опыта эксплуатации аналогичных технических средств для решения практических задач.

2. Этап создания. Включает следующие стадии: разработка (проектирование).

Он включает:

- Формирование технического задания;
- Формирование технического предложения;
- Создание эскизного проекта, технического проекта;
- разработка рабочей документации на опытный образец (партию) изделий;
- изготовление опытного образца (партии) изделий;
- испытания опытного образца (партии) изделий;
- подготовка документации на изделия серийного (массового) производства;
- изготовление и испытание установочной серии и т. д.;
- изготовление;
- поставка.

3. Этап применения (эксплуатации), включающий в себя следующие стадии:

- хранение;
- транспортирование;
- подготовка к применению по назначению (развертывание, монтаж и наладка);
- испытание;
- применение по назначению;
- техническое обслуживание;
- ремонт.

4. Конечный этап жизненного цикла (вывод из эксплуатации, списание, ликвидация и утилизация отходов).

Основаниями для перехода к конечному этапу жизненного цикла могут быть:

- исчезновение или существенное изменение потребности;
- моральное старение;
- физическое старение (полное исчерпание ресурса вследствие физического износа и невозможность или нецелесообразность его восстановления путем ремонта).

1.4 Методы обеспечения надежности на различных этапах жизненного цикла.

Процесс создания технической системы (ТС) в свою очередь разделяют на три стадии: проектирование (разработка), изготовление (производство, монтаж, наладка) и применение (эксплуатация). Как уже было указано ранее, надежность изделия должна быть обеспечена на всех стадиях. Рассмотрим основные пути ее достижения, заметив что **надежность, прежде всего, закладывается на стадии проектирования** и достигается следующими приемами:

На стадии проектирования и разработки:

- Применением элементов, микросхем и комплектующих изделий, обладающих лучшими и более стабильными во времени характеристиками (элементная надежность);
- разработкой схем, менее чувствительных к разбросу параметров элементов, вызванному технологией изготовления, воздействием внешней среды, износом, старением (схемная надежность);
- конструктивными решениями, учитывающими физические условия работы (конструктивная надежность);
- использованием агрегатного принципа построения схем, обеспечивающего простой доступ для контроля и ремонта систем;
- унификацией и стандартизацией технических решений, способствующих системной, программной и информационной совместимостям;
- применением встроенных и внешних систем контроля и диагностики, быстродействующие устройства защиты;
- использованием резервирования элементов и устройств, выполняющих наиболее ответственные функции.

На стадии производства надежность обеспечивается строгим соблюдением технологии изготовления, монтажа, наладки, а также

применением контроля на всех стадиях производства.

На стадии эксплуатации надежность обеспечивается:

- использованием аппаратуры по назначению в строгом соответствии с техническими условиями;
- обоснованной регламентацией системы обслуживания;
- высокой квалификацией и ответственностью обслуживающего персонала;
- поддержанием в требуемом объеме и исправном состоянии запасных устройств и комплектующих частей (ЗИП).

1.5 Элементы технических систем.

В процессе проектирования сложное изделие как правило разделяется на части, которые проектируются самостоятельно, но с учетом того что они являются элементами изделия. Теория надежности также рассматривает сложную систему как совокупность подсистем и исследует влияние каждого из подсистем на надежность изделия в целом.

Составными частями сложной системы или изделия (объекта) в теории надежности являются:

Элемент (деталь) - один или несколько однотипных устройств, предметов, имеющих количественные характеристики надежности, учитываемые при расчете надежности всего соединения.

Ячейка - отдельная механическая конструкция, не имеющая самостоятельного функционального назначения.

Узел (блок) - несколько деталей, ячеек, объединенных для выполнения определенной функции, но не имеющих самостоятельного эксплуатационного назначения (регистр команд, счетчик циклов, дешифратор операций).

Устройством называется совокупность элементов объединенных в законченную техническую конструкцию, имеющую самостоятельное эксплуатационное назначение и выполняющую одну определенную функцию (блок питания, арифметическое устройство (АУ) и т. д.).

Прибор - группа блоков, имеющая конструктивно самостоятельное назначение.

Установка - группа приборов.

Системой - называется технически обоснованная совокупность совместно действующих устройств, предназначенная для выполнения определенной практической задачи (система передачи данных,

локальная вычислительная сеть, система управления производством).

Система может состоять из нескольких устройств и установок. Надежность системы имеет самостоятельное значение.

Различают системы восстанавливаемые (после отказов их можно отремонтировать) и невосстанавливаемые (восстановление которых после отказа невозможно).

1.6 Основные понятия и определения теории надежности.

Указанные важнейшие свойства надежности характеризуют определенные технические состояния объекта. Различают пять основных видов технического состояния объектов:

Исправное состояние. Состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и/или конструкторской (проектной) документации.

Неисправное состояние. Состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и/или конструкторской (проектной) документации.

Работоспособное состояние. Состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и/или конструкторской (проектной) документации.

Неработоспособное состояние. Состояние объекта, при котором значения хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствуют требованиям нормативно-технической и/или конструкторской (проектной) документации.

Предельное состояние. Состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно. **Критерий предельного состояния** - это признак или совокупность признаков предельного состояния объекта, установленных нормативно-технической или конструкторской (проектной) документацией. Предельное состояние обусловлено наступлением физического или морального износа; для многих элементов информационных систем характерно, что их моральный износ наступает раньше физического износа.

Наработка - продолжительность или объем работы объекта, измеряемые в часах, циклах или в других единицах.

Отказ — событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.

Критичность отказа — это совокупность признаков, характеризующих последствия отказа.

Отказы в зависимости от последствий разделяют на **критические** и **некритические**. А некритические отказы могут быть в свою очередь разделены на существенные и несущественные. Границы между этими категориями условны и зависят от степени важности и ответственности объекта.

Повреждение — событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении работоспособного состояния.

Дефектом называется каждое несоответствие объекта установленным нормам и требованиям, (наличие царапин, потертости изоляции, небольших деформаций и т.д.).

Сбой — кратковременное однократное нарушение работоспособности системы, после которого работоспособность восстанавливается сама или незначительным вмешательством оператора без проведения ремонта.

Ошибка — проявление сбоя или отказа компонента ИС.

Физическими причинами отказов технических средств являются изменения, которые происходят с течением времени в любом объекте и приводят к потере им работоспособности. Эти изменения связаны с внешними и внутренними энергетическими воздействиями, которым подвергается объект во время эксплуатации. При этом можно выделить три основных источника воздействий:

- действие энергии окружающей среды, включая человека, выполняющего функции оператора и ремонтника;
- внутренние источники энергии, связанные с рабочими процессами, протекающими в объекте;
- накопленная потенциальная энергия материалов, из которых изготовлен объект.
- Различные виды энергии (гравитационная, солнечная, механическая, тепловая, химическая, электромагнитная, ядерная, биоэнергия), действуя на объект, инициируют в его составных частях процессы, изменяющие свойства или состояние материалов. Эти процессы связаны, как правило, со сложными физико-химическими явлениями и приводят к деформации, износу, поломке и другим видам повреждений (отклонений

контролируемых свойств материалов от их первоначального уровня).

Накопление повреждений, в свою очередь, влечет за собой изменение выходных качественных параметров объекта, что в конечном счете приводит к отказу.

В сложных системах, содержащих в своем составе вычислительные устройства и комплексы, возможно возникновение ошибок программного обеспечения, приводящих к нарушению работоспособности вычислительных средств и снижению их производительности. Отказы программного обеспечения как результат проявления ошибок имеют совершенно другую физическую природу, чем отказы техники. Однако термины и показатели надежности техники применимы при исследовании качества программного обеспечения.

1.7 Техническое обслуживание и ремонт

Для различных объектов предусматривают выполнение (или невыполнение) технического обслуживания на протяжении срока их службы, т. е. объекты можно разделить на технически обслуживаемые и технически не обслуживаемые.

Техническое обслуживание — это этап эксплуатации, включающий организацию и технические мероприятия, направленные на поддержание надежности и готовности используемого или хранящегося оборудования. В техническое обслуживание входят работы по непосредственному обеспечению работоспособности оборудования (профилактика, текущий ремонт, контрольные мероприятия), а также конкретные мероприятия технической подготовки к работе (развертывание, регулирование, заправка, экипировка, смазка и др.) и другие работы, большую часть которых выполняют без снятия и разборки узлов и агрегатов.

Восстановление — процесс перевода объекта в работоспособное состояние из неработоспособного состояния.

Ремонт — процесс восстановления работоспособности объектов путем устранения отказов и восстановления израсходованного ресурса. Ремонты разделяются на текущие, средние и капитальные. Текущий ремонт направлен на устранение отказов и неисправностей, возникающих в процессе работы машин и оборудования, средний и капитальный — на восстановление частично или полностью

израсходованного ресурса объектов.

Обслуживаемый объект — это объект, для которого проведение технического обслуживания предусмотрено нормативно-технической документацией и/или конструкторской (проектной) документацией.

2. Показатели надежности.

Показатели надежности - это количественные характеристики одного или нескольких свойств, определяющих надежность системы. В основе большинства показателей надежности лежат оценки наработки, т.е. продолжительности или объема работы, выполненной объектом. По отношению к ЭВМ и ее элементам обычно в качестве наработки рассматривают только продолжительность работы. Когда система работает с перерывами, учитывается суммарная наработка. Если объект эксплуатируется в различных режимах, влияющих на показатели надежности, то наработки могут суммироваться для каждого режима отдельно.

Согласно (Гост 27002-89) показатели надежности могут быть единичными и комплексными. Показатель надежности, относящийся к одному из свойств, определяющих надежность объекта, называется **единичным**. **Комплексный** показатель надежности относится к нескольким свойствам, определяющим надежность системы.

И единичные и комплексные показатели являются вероятностными характеристиками, т.е. случайными величинами.

При рассмотрении показателей надежности следует различать:

- наименование показателя;
- формулировку показателя, содержащую указание о способах экспериментального или расчетного определения его численного значения;
- численные значения показателя.

2.1 Единичные показатели надежности.

Единичные показатели надежности указаны в табл. 1.

Таблица 1 Единичные показатели надежности.

Свойство надежности	Единичный показатель надежности
Безотказность - свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторой наработки.	Вероятность безотказной работы $P(t)$, Средняя наработка до отказа $T_{ср}$, γ процентная наработка до отказа $T_{\gamma\%}$, Средняя наработка на отказ T (для восстанавливаемых систем) Интенсивность отказов $\lambda(t)$, Параметр потока отказов $\mu(t)$ (для восстанавливаемых систем)
Долговечность - свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов	Средний ресурс, γ -процентный ресурс, Назначенный ресурс, Средний срок службы, γ -процентный срок службы, Назначенный срок службы.
Ремонтопригодность - свойство системы, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния объекта путем технического обслуживания и ремонта, либо путем замены отказавших элементов.	Вероятность восстановления в заданное время, Среднее время восстановления, Интенсивность восстановления
Сохраняемость -Свойство системы непрерывно сохранять установленные показатели безотказности, ремонтопригодности и долговечности в течение и после хранения и (или) транспортирования	Средний срок сохраняемости, γ -процентный срок сохраняемости

2.2 Комплексные показатели надежности технических систем.

Вероятностные характеристики отдельных свойств надежности являются независимыми. Один объект может обладать высокими показателями безотказности, но быть плохо ремонтпригодным. Другой объект может быть долговечным, но обладать низкими показателями безотказности. Для оценки нескольких свойств надежности используются комплексные показатели:

2.2.1 Коэффициент готовности.

Процесс функционирования восстанавливаемого объекта можно представить как последовательность чередующихся интервалов работоспособности и восстановления (простоя). Коэффициент готовности — это вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается. Этот показатель одновременно оценивает свойства работоспособности и ремонтпригодности объекта.

$$K_{\Gamma} = \frac{\bar{T}}{\bar{T} + \bar{T}_в}$$

Где $\bar{T}_в$ — Среднее время восстановления.

$\bar{T}$ — Среднее время нахождения системы в работоспособном сост.

Иногда пользуются коэффициентом простоя, равным $K_{\Pi} = 1 - K_{\Gamma}$

K_{Γ} удобен тем что показывает, какую часть времени ИС исправна. Если же ИС выводится на техническое обслуживание или ремонт, то с помощью коэффициента готовности нельзя оценить долю времени, в течение которого ИС работоспособна. Для этого вводят коэффициент технического использования.

2.2.2 Коэффициент технического использования.

$$K_{\text{ТИ}} = \frac{\bar{T}}{\bar{T} + \bar{T}_в + \bar{T}_{\text{обсл}}}$$

Коэффициент технического использования — это отношение математического ожидания суммарного времени пребывания ТС в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к математическому ожиданию суммарного времени пребывания в работоспособном состоянии и простоев, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтами, за тот же период эксплуатации.

Чем больше длительность простоя по различным причинам, тем ниже $K_{\text{ТИ}}$

2.2.3 Коэффициент оперативной готовности.

Коэффициент оперативной готовности определяется как вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается и, начиная с этого момента, будет работать безотказно в течение заданного интервала времени.

$$K_{\text{ог}}(t) = K_{\Gamma} \cdot P(t_p)$$

Где $P(t_p)$ — вероятность безотказной работы ТС в течение времени t_p
 K_{Γ} — коэффициент готовности системы.

Коэффициент оперативной готовности характеризует надежность объектов, необходимость применения которых возникает в произвольный момент времени, после которого требуется определенная безотказная работа.

2.2.4 Коэффициент сохранения эффективности.

Коэффициент сохранения эффективности — это отношение значения показателя эффективности за определенную продолжительность эксплуатации $\mathcal{E}$ к номинальному значению этого показателя $\mathcal{E}_0$, вычисленному при условии, что отказы объекта в течение того же периода эксплуатации не возникают. Этот коэффициент характеризует степень влияния отказов элементов объекта на эффективность его применения по назначению

$$K_{\text{эф}} = \frac{\mathcal{E}}{\mathcal{E}_0}$$

При этом под эффективностью применения объекта по назначению понимают его свойство создавать некоторый полезный результат в течение периода эксплуатации в определенных условиях.

Эффективность, как свойство объекта, характеризуется соответствующими показателями. Показатель эффективности — показатель качества, характеризующий выполнение объектом его функций. В идеальном случае объект выполняет свои функции (создает определенный выходной эффект) при отсутствии отказов ЭО. Реальный выходной эффект Э определяют с учетом реальной надежности.

Аналитические выражения для расчета эффекта для различных типов объектов приведены в ГОСТ 27.003—89.

В некоторых отраслях техники изменяются комплексные показатели надежности, отражающие специфику эксплуатации оборудования отрасли. Так, в ядерной энергетике при оценке надежности ядерной энергетической установки (ЯЭУ) большое распространение получил коэффициент использования установленной мощности, который представляет собой отношение фактически выработанной мощности ЯЭУ за время t к мощности, которую она выработала бы за это же время, работая на номинальной мощности W_n без остановок.

$$K_{иум} = \frac{\int_0^{t_3} W(t) dt}{W \cdot t_3} = \frac{K_{ти} \cdot \bar{W}}{W_n}$$

где $\bar{W}$ — средний уровень мощности ЯЭУ за время t_3 (исключая время остановок).

3. Расчет параметров надежности технических систем.

3.1 Надежность невосстанавливаемых нерезервированных систем.

Для анализа и расчета надежности невосстанавливаемых нерезервированных систем используется математический аппарат теории вероятностей. Для этого составляют структурные схемы надежности (см. рис. 3.1), которые показывают влияние отказа отдельного элемента на отказ всей системы. Такая схема строится на

основании функциональной и принципиальной схем изделия и предусматривает последовательное или параллельное соединение элементов схемы.

Рассмотрим систему, состоящую из трех элементов. Обозначим вероятность того что элемент работоспособен через P_i , а вероятность неработоспособного состояния (отказа) через Q_i . Тогда полную группу событий для данной системы можно описать выражением:

$$P_{сист} = P_1 P_2 P_3 + Q_1 P_2 P_3 + P_1 Q_2 P_3 + P_1 P_2 Q_3 + Q_1 Q_2 P_3 + Q_1 P_2 Q_3 + P_1 Q_2 Q_3 + Q_1 Q_2 Q_3 = 1$$

Допустим что структурная схема надежности такова, что отказ любого элемента системы приводит к отказу всей системы см (рис 2.1), тогда из теории вероятности независимых случайных событий известно, что совпадение этих событий определяется как произведение вероятности их появлений.

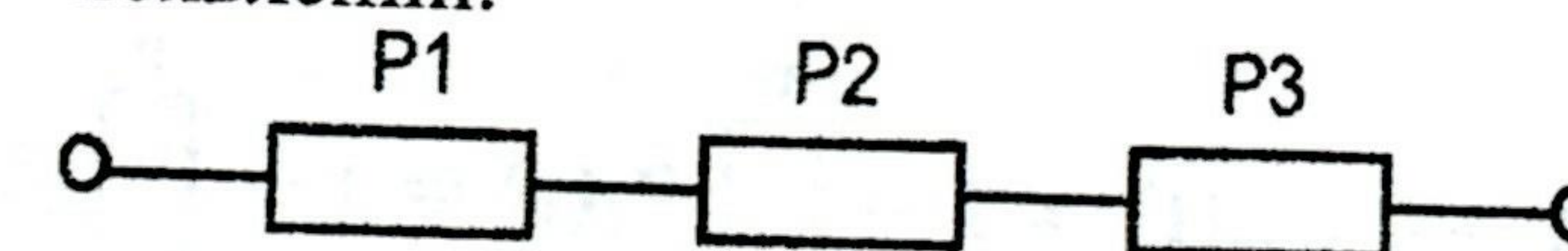


Рис. 3.1 Структурная схема надежности -последовательное соединение элементов

Тогда вероятность безотказной работы системы равна: $P_{сист} = P_1 P_2 P_3$

Или для n последовательно соединенных элементов в общем виде формула для вероятности безотказной работы (ВБР) будет иметь вид:

$$P_{сист}(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t)$$

Где $P_i(t)$ — ВБР i -го элемента системы.

А вероятность отказа системы: $Q_{сист}(t) = 1 - P_{сист}(t)$

Если структурная схема надежности такова, что отказ системы происходит только тогда, когда отказывает последний ее элемент, то такая структурная схема надежности называется параллельной (см рис. 3.2), и в этом случае отказ систем будет состоять из независимых случайных событий одновременного отказа всех параллельных элементов системы:

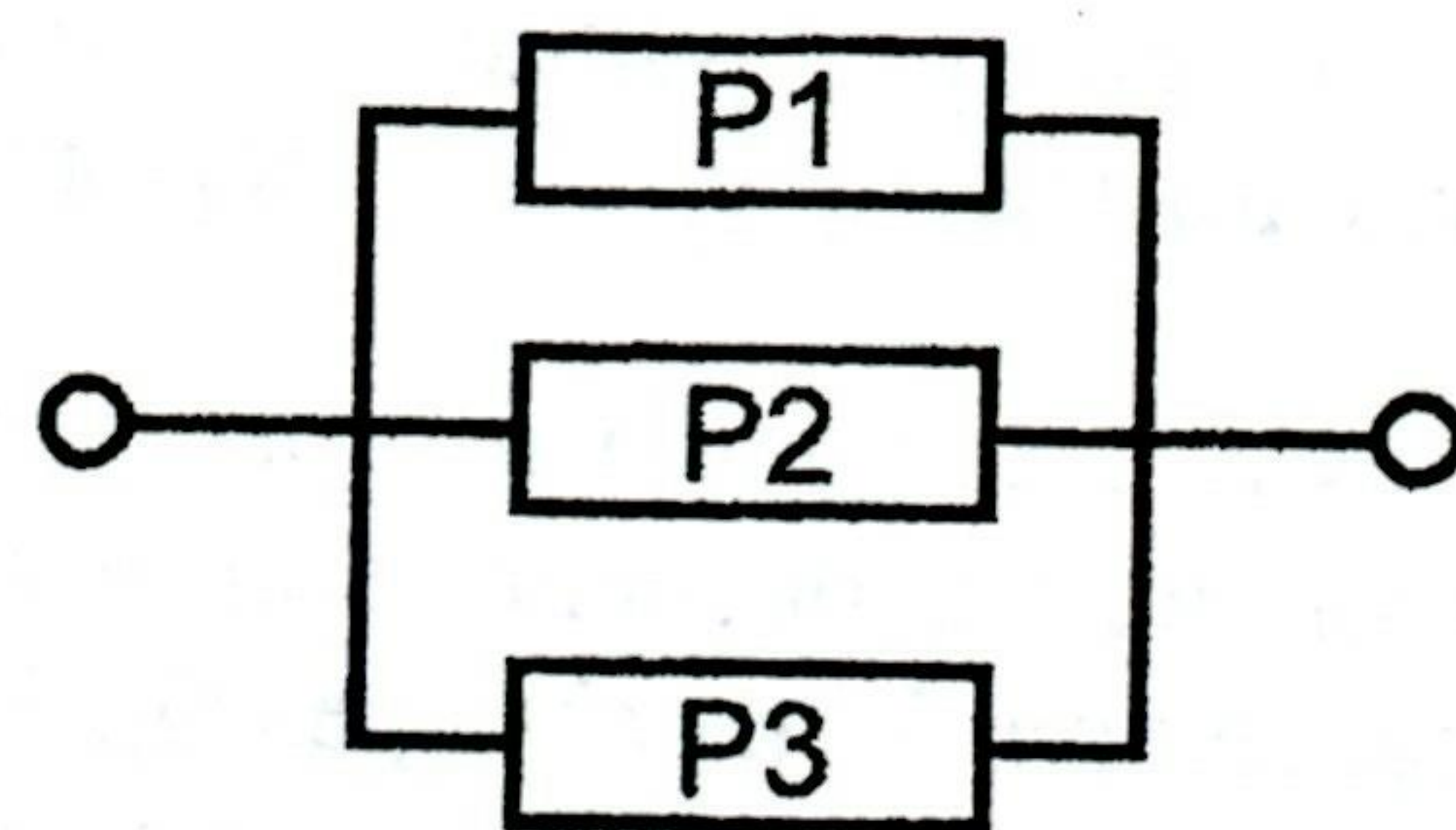


Рис. 3.2 Структурная схема надежности - параллельное соединение элементов

Вероятность отказа системы можно посчитать по формуле:

$$Q_{\text{сист}}(t) = \prod_{i=1}^n Q_i(t) = \prod_{i=1}^n (1 - P_i(t))$$

А ВБР будет равна:

$$P_{\text{сист}}(t) = 1 - Q_{\text{сист}}(t) = 1 - \prod_{i=1}^n Q_i(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i(t))$$

В случае параллельного соединения трех элементов рис. 2.2 ВБР будет равна: $P_{\text{сист}} = 1 - Q_1 Q_2 Q_3 = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2)(1 - P_3)$

Таким образом, любую систему можно представить в виде комбинации параллельного и последовательного соединения элементов в структурной схеме надежности и зная параметры надежности этих элементов найти вероятность безотказной работы и вероятность отказа всей системы.

3.2 Надежность восстанавливаемых нерезервированных систем.

Сложные технические объекты, рассчитанные на длительный срок службы, создаются, как правило, ремонтируемыми. Переход системы из неработоспособного (предельного) состояния в работоспособное осуществляется с помощью операций восстановления или ремонта. К первым, в основном, относятся операции идентификации отказа (определение его места и характера), замены, регулирования, заключительных операций контроля работоспособности системы в целом. Переход системы из предельного состояния в работоспособное осуществляется с помощью ремонта, при котором происходит восстановление ресурса системы в целом.

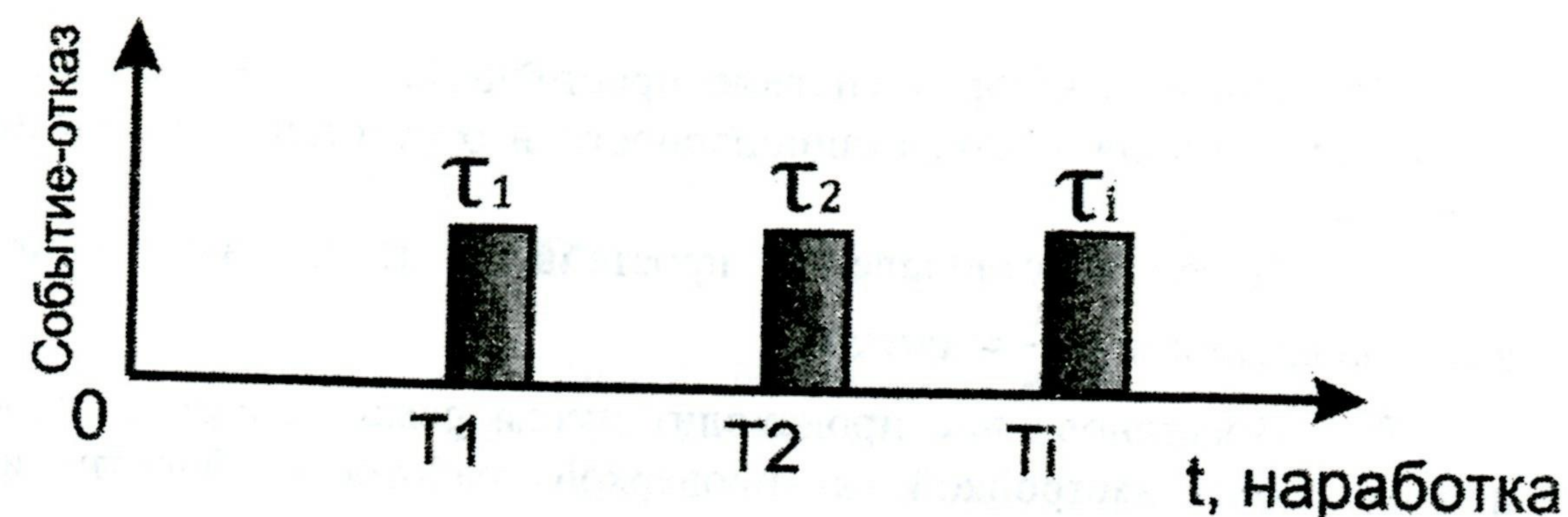


Рисунок 3.3 Поток отказов-восстановлений. t_i - i -я наработка, τ_i - i -е время восстановления

Расчет надежности восстанавливаемых изделий осуществляется применительно к следующей ситуации. Эксплуатация исправного изделия начинается в момент времени $t = 0$. По истечении случайного интервала времени t_i изделие выходит из строя. Для проведения ремонта требуется случайное время τ_i . Этот процесс продолжается в течение всего срока службы изделия, при этом случайные величины t_i и τ_i ($i = 1, 2, \dots$) независимы. В случайные или заранее установленные моменты времени t_j ($j = 1, 2, \dots$) могут проводиться профилактические работы установленной или случайной длительности. Характер процедуры расчета при этом зависит от следующих обстоятельств:

- наличия резервных устройств;
- дискретности работы изделия с запланированными или случайными моментами начала и окончания работы;
- ограниченного числа восстановлений;
- наличия очереди на ремонт или обслуживание;
- возможного изменения параметров изделия после ремонта.

Для расчета надежности восстанавливаемых изделий используют различные методы, в том числе основанные на использовании классической теории вероятностей, теории массового обслуживания, теории графов и др.

Приведем пример расчета надежности восстанавливаемой резервируемой системы с помощью графа состояний:

При анализе надежности одноэлементной системы примем следующие допущения.

1. Поток отказов в системе простейший, т. е. выполняются требования ординарности, стационарности и отсутствия последствия ($\lambda = \mu = \text{const}$).

2. Поток восстановлений простейший, т. е. интенсивность восстановления $\mu = \frac{1}{\tau_v} = \text{const}$

3. Восстановление происходит путем ремонта или замены с последующей настройкой и проверкой работоспособности или исправности системы за одно и то же время τ_v .

Расчетная схема надежности восстанавливаемой одноэлементной системы представлена на (рис. 2.4)

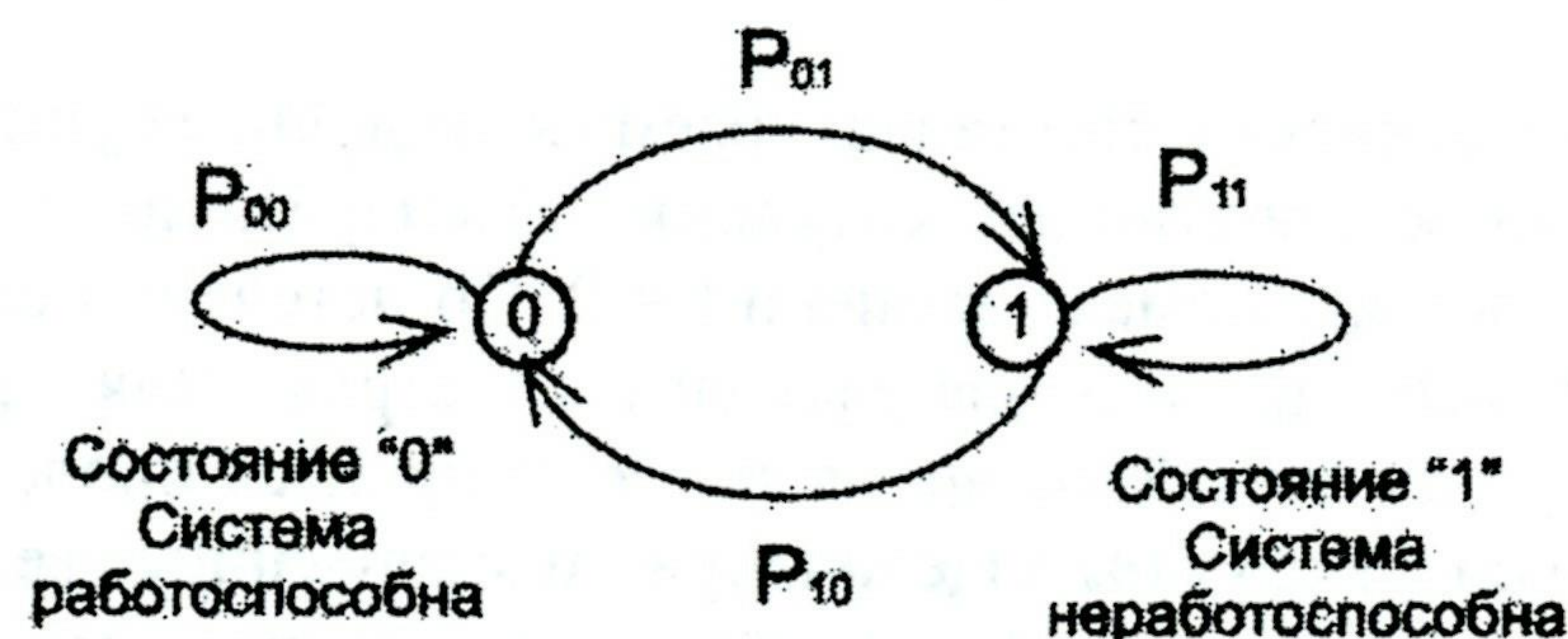


Рис.3.4 Граф перехода состояния системы

Поведение системы с точки зрения работоспособности опишем графом переходов. На этом рисунке кружки с номером обозначают состояние системы, а стрелки (дуги) - направление переходов системы и вероятности этих переходов за бесконечно малый интервал времени. Вероятности переходов в силу сделанных предположений и свойства экспоненциального закона надежности не зависят от времени t .

Введем вероятности нахождения системы в состояниях 0 и 1 как $P_0(t)$ -и $P_1(t)$. Очевидно, что $P_0(t) + P_1(t) = 1$ для любого момента времени.

Данная система с интенсивностью λ стремится принять состояние отказа, а с интенсивностью μ — перейти в работоспособное состояние.

Для обозначения устойчивых состояний системы используем следующие индексы:

1 — отказ: система находится в состоянии восстановления с интенсивностью восстановления $\mu = \text{const}$;

0 — работоспособное состояние с параметром потока отказов $\omega = \text{const}$, $\omega = \lambda$

Для анализируемой системы с учетом принятых допущений возможны четыре вида перехода из состояния в момент времени t в состояние в момент времени $(t, t + \Delta t)$.

Указанные переходы можно представить в виде графа перехода состояний системы с восстановлением

Графу перехода состояний соответствует матрица переходных вероятностей 2×2 :

$$\begin{vmatrix} P_{00}(\Delta t) & P_{01}(\Delta t) \\ P_{10}(\Delta t) & P_{11}(\Delta t) \end{vmatrix}$$

$P_{00}(\Delta t)$ — вероятность что за отрезок времени Δt система останется в работоспособном состоянии

$P_{11}(\Delta t)$ — Вероятность что на отрезке времени Δt система останется в неработоспособном состоянии (в состоянии восстановления).

$P_{01}(\Delta t)$ — вероятность что на отрезке времени Δt система перейдет в неработоспособное состояние

$P_{10}(\Delta t)$ - вероятность что на отрезке времени Δt система восстановит работоспособность.

В силу того что поток отказов простейший функция вероятности безотказной работы имеет вид экспоненты: $P_{00}(t) = e^{-\lambda t}$

$$P_{11}(t) = e^{-\mu t}$$

Воспользовавшись формулой разложения экспоненциальной функции в ряд Тейлора $e^x = 1 + \frac{x}{1!} + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots$, $-\infty < x < \infty$

И с учетом соотношения, справедливого для высоконадежных элементов $\lambda < 10^{-5}$, ограничимся двумя первыми членами ряда. В результате получим приближенные соотношения:

$$P_{00}(t) = e^{-\lambda t} = 1 - \lambda t + o(t)$$

$$P_{11}(t) = e^{-\mu t} = 1 - \mu t + o(t)$$

Сумма элементов каждой строки матрицы равна 1, так как это есть сумма вероятностей составляющих полную группу событий. Следовательно:

$$P_{00}(t) + P_{01}(t) = 1; P_{01}(t) = 1 - P_{00}(t) = \lambda t + o(\Delta t)$$

$$P_{11}(t) + P_{10}(t) = 1; P_{10}(t) = 1 - P_{11}(t) = \mu t + o(\Delta t)$$

Для составления уравнений вероятности состояний системы запишем формулу полной вероятности для каждого столбца матрицы:

1 столбец: $P_0(t + \Delta t) = P_0(t)P_{00}(\Delta t) + P_1(t)P_{10}(\Delta t)$

2 столбец: $P_1(t + \Delta t) = P_0(t)P_{01}(\Delta t) + P_1(t)P_{11}(\Delta t)$

Где $P_0(t)$ -вероятность нахождения системы в момент времени t в 0 (работоспособном) состоянии

Где $P_1(t)$ -вероятность нахождения системы в момент времени t в 1 состоянии отказа

Определим производные вероятностей $P_0(t)$ и $P_1(t)$

$$\begin{cases} P'_0(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_0(t + \Delta t) - P_0(t)}{\Delta t} = -P_0(t)\lambda + P_1(t)\mu \\ P'_1(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_1(t + \Delta t) - P_1(t)}{\Delta t} = \lambda P_0(t) - \mu P_1(t) \\ P_0(t) + P_1(t) = 1 \end{cases}$$

В полученные выражения подставим формулы для полных вероятностей $P_0(t + \Delta t)$ и $P_1(t + \Delta t)$ и, выполнив соответствующие преобразования, получим систему двух дифференциальных уравнений относительно вероятностей пребывания системы в состояниях «0» и «1»

$$\begin{cases} P'_0(t) = -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t) \\ P'_1(t) = \lambda P_0(t) - \mu P_1(t) \\ P_0(t) + P_1(t) = 1 \end{cases}$$

При начальных условиях $P_0(t = 0) = 1$; $P_1(t = 0) = 0$ восстанавливаемая система работоспособна, т.е. находится в состоянии «0».

Учитывая начальные условия вытекающие из того что в начальный момент система работоспособна $P_0(t = 0) = 1$; $P_1(t = 0) = 0$ решение системы уравнений имеет вид:

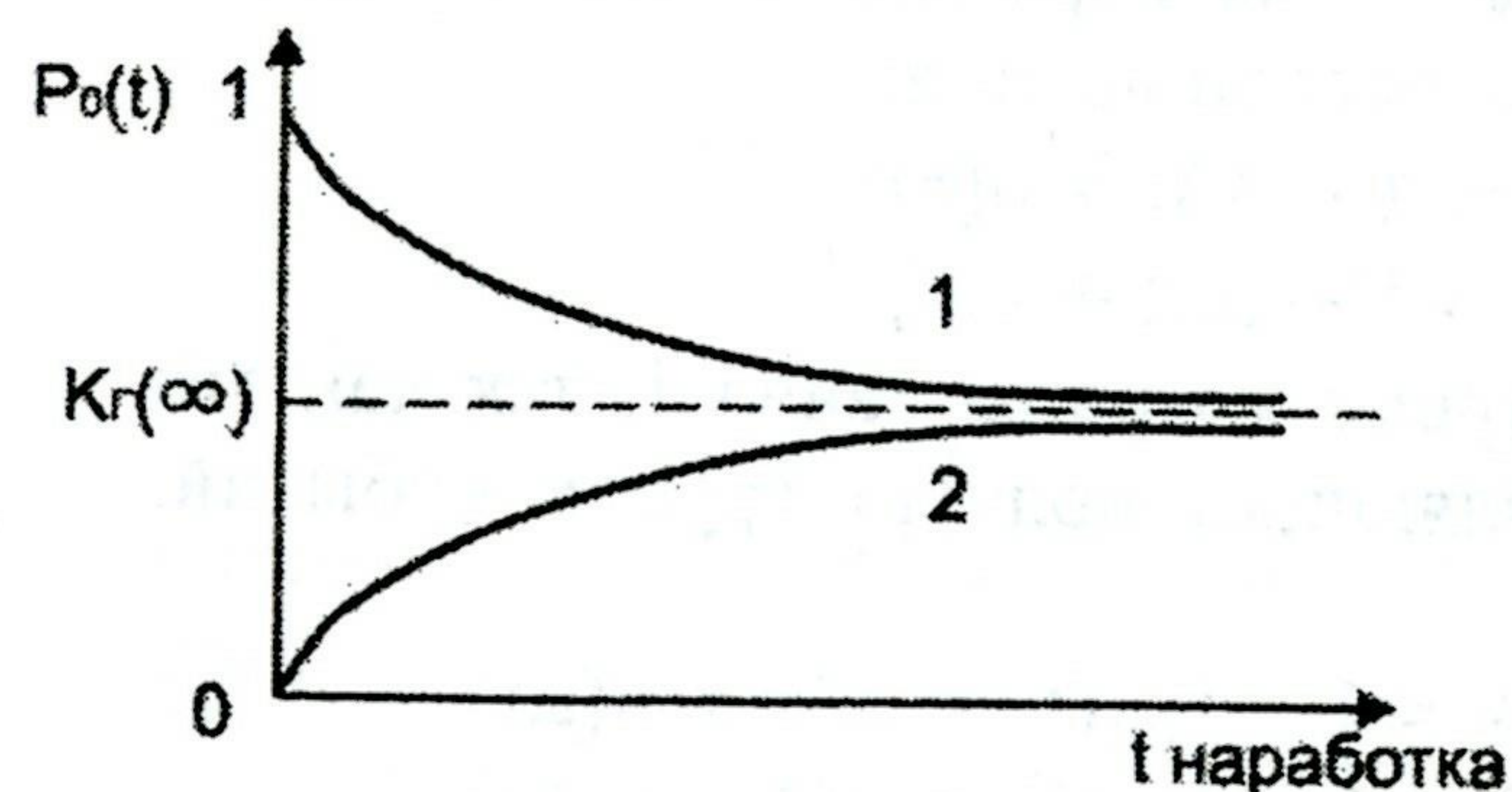


Рис.3.5 Графическое решение системы уравнений при начальных условиях $P_0(t = 0) = 1$; $P_1(t = 0) = 0$

Аналитическое решение этой системы для $P_0(t)$ имеет вид:

$$P_0(t) = G(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \cdot \left[1 + \frac{\lambda}{\mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \right]$$

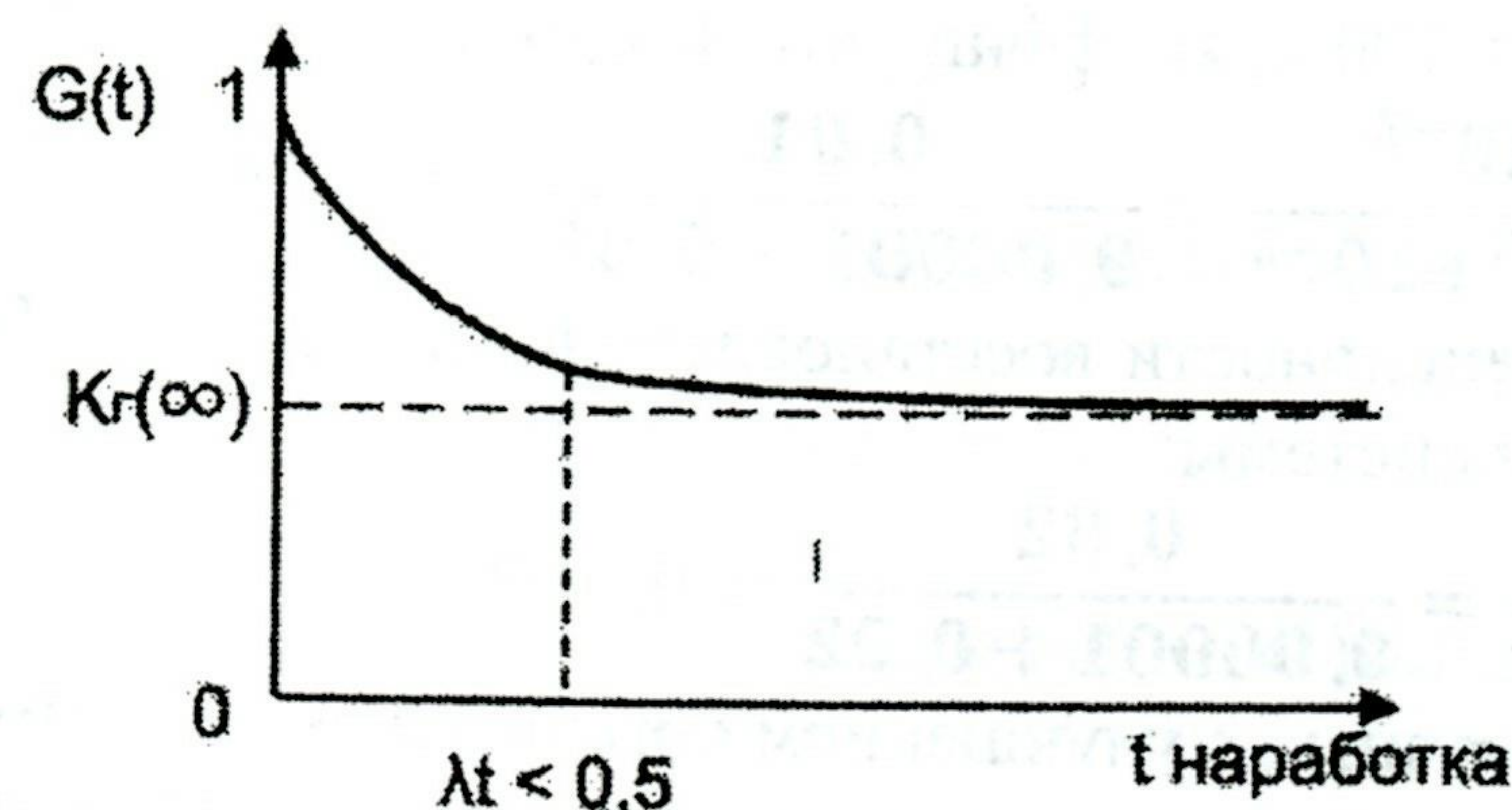


Рис. 3.5 Зависимость функции готовности $G(t)$

Предельное значение $K_{Г(\infty)}$ достигается в установившемся режиме ТС, когда переходные процессы, связанные с вводом в эксплуатацию и приработкой в ней завершены.

Вероятность работоспособного состояния системы в момент времени t представляет собой функцию готовности $G(t)$. Функция готовности — это вероятность работоспособного состояния восстанавливаемой системы в определенный момент времени t . Этот показатель дает оценку не за весь период эксплуатации изделия от 0 до t , а только в заданный момент времени t , поскольку до этого система могла находиться как в работоспособном (0), так и в неработоспособном (1) состояниях. Функция $G(t)$ представляет собой комплексный показатель надежности, так как оценивает два свойства системы — безотказность и ремонтпригодность.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} G(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} = K_{Г}$$

Если положить $\lambda = \text{const}$, то можно оценить повышение надежности системы за счет увеличения μ (сокращения времени восстановления τ_v) для определенного момента времени t . Например, десятикратное увеличение μ при $\lambda t = 1$ приводит к повышению надежности с $G(t) = 0,41$ до $G(t) = 0,95$.

Пример: Рассмотрим восстанавливаемую систему, у которой параметр потока отказов

$\lambda = 10^{-5} \text{ч}^{-1} = \text{const}$, средняя интенсивность восстановления $\mu = 10^{-2} \text{ч}^{-1} = \text{const}$. Требуется оценить увеличение

надежности этой системы за счет улучшения организации ремонтов, в частности при повышении интенсивности восстановления вдвое (сокращения вдвое времени восстановления).

Решение. Время восстановления до повышения уровня организации ремонтов $\tau_{в1} = 100$ ч; коэффициент готовности системы:

$$K_{\Gamma} = \frac{\mu}{\lambda + \mu} = \frac{10^{-2}}{10^{-5} + 10^{-2}} = \frac{0,01}{0,00001 + 0,01} = 0,999$$

При увеличении интенсивности восстановления в 2 раза $\tau_{в2} = 50$ ч коэффициент готовности системы:

$$K_{\Gamma} = \frac{2\mu}{\lambda + 2\mu} = \frac{0,02}{0,00001 + 0,02} = 0,9995$$

По сумме затрат, связанных с улучшением организации ремонтов и экономического эффекта от повышения надежности (улучшения ремонтпригодности), можно сделать вывод о целесообразности такого способа повышения надежности системы.

4. Практические работы.

Примеры решения задач.

Пример 1. Определить интенсивность отказов, среднее время восстановления, среднее время безотказной работы и вероятность безотказной работы в течение 1 года системы, состоящей из 5 последовательно соединенных элементов со следующими показателями надежности:

$$\begin{array}{ll} \lambda_1 = 0,5 \text{ год}^{-1}; & T_{B1} = 16 \text{ ч;} \\ \lambda_2 = 0,32 \text{ год}^{-1}; & T_{B2} = 8 \text{ ч;} \\ \lambda_3 = 0,3 \text{ год}^{-1}; & T_{B3} = 6 \text{ ч;} \\ \lambda_4 = 0,64 \text{ год}^{-1}; & T_{B4} = 12,5 \text{ ч;} \\ \lambda_5 = 0,001 \text{ год}^{-1}; & T_{B5} = 15 \text{ ч.} \end{array}$$

Решение. Интенсивность отказов системы, год^{-1}

$$\lambda_C = \sum_{i=1}^5 \lambda_i = 0,50 + 0,32 + 0,30 + 0,64 + 0,001 = 1,761.$$

Среднее время восстановления, ч

$$T_{BC} = \lambda_C^{-1} \sum_{i=1}^5 \lambda_i \cdot T_{Bi} = (1,761^{-1} \cdot 0,50 \cdot 16,0 + 0,32 \cdot 8,0 + 0,30 \cdot 6,0 + 0,64 \cdot 12,5 + 0,001 \cdot 15,0) = 11,57.$$

Среднее время безотказной работы, ч

$$T_C = \lambda_C^{-1} = 1/1,761 = 0,568 = 4974.$$

Вероятность безотказной работы (ВБР) за $t = 1$ год

$$P_C(1) = \exp(-1,761 \cdot 1) = 0,17.$$

Пример 2. В технических условиях на асинхронные электродвигатели серии 4 А указана вероятность безотказной работы $P(t) = 0,9$ за 10000 часов наработки. Необходимо определить интенсивность отказов и наработку на отказ.

Решение. При экспоненциальном распределении отказов основной закон надежности имеет вид: $P(t) = \exp(-\lambda t)$. Из этого выражения находим интенсивность отказов λ , ч^{-1}

$$\lambda t = \ln P(t); \quad \lambda = -\frac{\ln P(t)}{t} = -\frac{\ln 0,9}{10000} = 1,05 \cdot 10^{-5};$$

Наработка на отказ при экспоненциальном распределении ВБР:

$$T_1 = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{1,05 \cdot 10^{-5}} = 95238.$$

Пример 3. На испытание поставлено 1000 однотипных электронных ламп, за 3000 час отказало 80 ламп. Требуется определить $P(t)$, $Q(t)$, $\lambda(t)$ при $t = 3000$ час.

Решение: Численные оценки ВБР по статистическим данным об отказах находятся по следующей формуле:

$$\hat{P}(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0} = \frac{1000 - 80}{1000} = 0,92; \quad (1)$$

где $n(t)$ – число отказавших за время $(0, t)$ элементов;
 $N(t) = N_0 - n(t)$, безотказно проработавших до момента t , к
 первоначальному числу элементов, поставленных на испытание N_0 .

ВБР за время t ищем по формуле для экспоненциального
 распределения вероятности: $P_0(t) = e^{-\lambda t}$, подставляя $t=1000$ ч
 имеем: $P_0(t=1000) = e^{-\lambda t} = 0,92$, отсюда

$$\lambda = -\frac{\ln P(t=1000)}{t} = -\frac{\ln P(0,92)}{1000} = 8,34 \cdot 10^{-5}$$

Находим ВБР за время $t=3000$ ч:
 $P_0(t=3000) = e^{-\lambda t} = e^{-8,34 \cdot 10^{-5} \cdot 3000} = 0,78$

Вероятность отказа и ВБР в сумме дают полную группу событий:
 $P(t) + Q(t) = 1$; отсюда получаем вероятность отказа системы за время
 $t=3000$ ч: $Q(t) = 1 - P(t) = 1 - 0,92 = 0,08$.

Пример 4. Определить коэффициенты готовности, простоя и
 коэффициент технического использования для трансформатора с
 высшим напряжением 35, 110 кВ.

Решение. Из приложения 1 берем исходные показатели
 надежности: $\lambda = 0,03 \text{ год}^{-1}$; $T_B = 30$ ч; $T_0 = 11$ ч.

Тогда $T = 1/\lambda = 1/0,03 = 33,33$ года

Расчеты по формулам (2.37), (2.40), (2.42) дают следующие
 результаты:

$$K_r = \frac{8760 \cdot 33,3}{8760 \cdot 33,3 + 30} = 0,999897; \quad K_{\Pi} = 1 - 0,999897 = 0,000103;$$

$$K_{\text{ти}} = \frac{8760 \cdot 33,3}{8760 \cdot 33,3 + 11} = 0,999859.$$

Практическая работа №1

**Определение оценочных показателей надежности на основе
 статистических данных.**

1.1 На испытание была поставлена 1000 однотипных датчиков
 давления. За 5000 ч отказало 75 устройств. Определите
 вероятность безотказной работы и вероятность отказа датчиков в
 течение 5000 ч.

1.2 На испытание поставлено 6 однотипных изделий. Получены
 следующие значения времени безотказной работы i -го изделия: $=$
 280 ч; $t_2 = 350$ ч; $t_3 = 400$ ч; $= 320$ ч; $t_3 = 380$ ч; $t_6 = 330$ ч. Требуется
 определить статистическую оценку среднего времени безотказной
 работы изделия.

1.3 Электропривод проработал 3000 ч, после чего проводились
 наблюдения за его работой. В течение последующих 2000 ч
 работы было зарегистрировано 8 отказов. Определите среднюю
 наработку на отказ.

1.4 В течение наблюдаемого периода эксплуатации аппаратуры
 было зафиксировано 5 отказов. Время восстановления составило:
 $t_1 = 0,1$ ч; $t_2 = 0,05$ ч; $t_3 = 0,2$ ч; $t_4 = 0,25$ ч; $t_5 = 0,15$ ч. Определите
 среднее время восстановления аппаратуры.

1.5 Коэффициент готовности технологического агрегата
 составляет 0,9. Среднее время его восстановления равно 12 ч.
 Определите вероятность застать агрегат в исправном состоянии в
 момент времени $t = 20$ ч.

1.6 Интенсивность отказов системы управления равна $\lambda = 0,01 \text{ ч}^{-1}$.
 Среднее время восстановления равно 10 ч. Определите
 вероятность застать систему в исправном состоянии в момент
 времени $t = 20$ ч.

1.7 В результате наблюдения за 45 образцами радиоэлектронного
 оборудования получены данные до первого отказа всех 45
 образцов, которые сведены в табл. 4.1. Требуется определить $P(t)$;
 $Q(t)$; $\lambda(t)$.

Таблица 4.1

Данные первого отказа всех образцов

t_i , час	n_i	t_i , час	n_i	t_i , час	n_i
0-5	1	30-35	4	60-65	3
5-10	5	35-40	3	65-70	3
10-15	8	40-45	0	70-75	3
15-20	2	45-50	1	75-80	1
20-25	5	50-55	0		
25-30	6	55-60	0		

Практическая работа № 2

Определение показателей надежности невосстанавливаемых нерезервированных систем.

2.1. Техническая система состоит из $n = 3$ подсистем, которые могут отказать независимо друг от друга. Отказ каждой подсистемы приводит к отказу всей системы. Вероятность того, что в течение времени t первая подсистема проработает безотказно, равна 0,7, вторая — 0,9, третья — 0,8. Найти вероятность того, что в течение времени t система проработает безотказно. Найти вероятность отказа системы за время t .

2.2 Известно, что серийно выпускаемая деталь имеет экспоненциальное распределение времени до отказа с параметром $\lambda = 10^{-5}$ час $^{-1}$. Деталь используется конструктором при разработке нового прибора. Назначенный ресурс прибора $T_n = 10^4$ час.

Определить следующие показатели надежности детали:

- вероятность отказа детали до момента T ;
- вероятность того, что деталь безотказно проработает в течение времени T_n ;
- вероятность того, что деталь безотказно проработает в интервале времени от 10^3 до 10^4 час.

2.3 Проектируется нерезервированная система, состоящая из элементов четырех групп. Количество элементов каждой группы, а также интенсивности их отказов приведены в табл. 1.

Таблица 1 Данные о числе элементов системы и интенсивности их отказов.

Номер группы	Число элементов	Интенсивность отказа элемента, час $^{-1}$
1	10	$2 \cdot 10^{-6}$
2	15	$4 \cdot 10^{-6}$
3	32	$2,5 \cdot 10^{-6}$
4	8	$5 \cdot 10^{-6}$

Определить:

- интенсивность отказа системы;
- среднее время безотказной работы;
- вероятность безотказной работы системы в течение времени $t_1 = 100$ час; $t_2 = 1000$ час и в интервале указанных наработок;
- плотность распределения времени безотказной работы системы при наработке $t_2 = 1000$ час.

2.4. Система состоит из пяти элементов с экспоненциальными законами распределения времени до отказа. Показателями их надежности являются: $P_1(100) = 0,99$; $\lambda_2 = 0,00001$ час $^{-1}$; $T_3 = 8100$ час; $T_4 = 7860$ час; $\lambda_5 = 0,000025$ час $^{-1}$.

Определить время t , в течение которого система будет исправна с вероятностью 0,92.

2.5. Система состоит из пяти элементов с постоянными интенсивностями отказов. Вероятности безотказной работы элементов в течение t часов имеют следующие значения: $P_1(100) = 0,99$, $P_2(200) = 0,97$, $P_3(157) = 0,98$, $P_4(350) = 0,95$, $P_5(120) = 0,98$.

Определить вероятность безотказной работы системы в течение 625 часов ее функционирования, а также среднее время безотказной работы.

Практическое занятие № 3

Определение параметров надежности технических систем.

3.1. На испытание было поставлено 1000 однотипных ламп. За первые 3000 ч отказало 80 ламп, а за интервал времени 3000–4000 ч отказало еще 50 ламп. Требуется определить статистическую оценку частоты и интенсивности отказов электронных ламп в промежутке времени 3000–4000 ч.

3.2. На испытание поставлено $N = 400$ изделий. За время $t = 3000$ ч отказало 200 изделий, т.е. $n(t) = 400 - 200 = 200$. За интервал времени $(t, t + \Delta t)$, где $t = 100$ ч, отказало 100 изделий, т.е. $n(t) = 100$. Требуется определить ВБР ($t=3000$ ч).

3.3. На испытание поставлено 100 однотипных изделий. За 4000 ч отказало 50 изделий. За интервал времени 4000–4100 ч отказало еще 20 изделий. Требуется определить численную оценку функции плотности вероятности $\hat{f}(t)$ при $t = 4000$ ч.

3.4. На испытание поставлено 100 однотипных изделий. За 4000 ч отказало 50 изделий. Требуется определить численные оценки ВБР и вероятности отказа $\hat{P}(t)$ и $\hat{q}(t)$ при $t = 4000$ ч.

3.5. В течение 1000 ч из 10 гироскопов отказало 2. За интервал времени 1000–1100 ч отказал еще один гироскоп. Требуется определить численную оценку функции плотности вероятности $\hat{f}(t)$ при $t = 1000$ ч.

3.6. На испытание поставлено 1000 однотипных электронных ламп. За первые 3000 ч отказало 80 ламп. За интервал времени 3000–4000 ч отказало еще 50 ламп. Требуется определить $\hat{P}(t)$ и $\hat{q}(t)$ при $t = 4000$ ч.

3.7. На испытание поставлено 1000 изделий. За время $t = 1300$ ч вышло из строя 288 штук изделий. За последующий интервал времени 1300–1400 ч вышло из строя еще 13 изделий. Необходимо вычислить $\hat{P}(t)$ при $t = 1300$ ч и $t = 1400$ ч; $\hat{f}(t)$ при $t = 1300$ ч.

3.8 На испытание поставлено 45 изделий. За время $t = 60$ ч вышло из строя 35 штук изделий. За последующий интервал времени 60–65 ч вышло из строя еще 3 изделия. Необходимо вычислить $\hat{P}(t)$ при $t = 60$ ч и $t = 65$ ч; $\hat{f}(t)$ при $t = 60$ ч.

3.9. На испытание поставлено 8 однотипных изделий. Получены следующие значения t_i (t_i – время безотказной работы i -го изделия): $t_1 =$

560 ч; $t_2 = 700$ ч; $t_3 = 800$ ч; $t_4 = 650$ ч; $t_5 = 580$ ч; $t_6 = 760$ ч; $t_7 = 920$ ч; $t_8 = 850$ ч. Определить статистическую оценку среднего времени безотказной работы изделия.

3.10. Предприятие по ремонту электрических машин гарантирует вероятность безотказной работы электродвигателей после ремонта 0,8 в течение наработки 9000 ч. Определить интенсивность отказов и среднюю наработку до отказа электродвигателя после ремонта на участке длительной эксплуатации.

3.11. Определить, какое из устройств имеет большую вероятность безотказной работы за период работы 1000 ч, если плотность распределения наработки на отказ описывается формулами:

$$f_1(t) = \lambda \cdot \exp(-\lambda t), \quad f_2(t) = t/r^2 [\exp(-t^2/2r^2)]$$

при $\lambda = 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$, $r = 0,5 \cdot 10^4$ ч.

3.12. Поток отказов сложной системы автоматического управления имеет параметры $\lambda = 10^{-2}$. Определить вероятность того, что в интервале времени 0...100 ч в системе не произойдет отказа.

3.13. Нарботка до отказа электроприемника на этапе ускоренного износа имеет параметры $m_i = 1500$ ч, $\sigma_i = 695$ ч. В течение какой наработки электроприемник будет работать с вероятностью безотказной работы 0,8.

3.15. Пускорегулирующая аппаратура состоит из 5 элементов, отказ каждого ведет к отказу всей системы. Известно, что первый элемент отказал 34 раза за 9520 ч работы, второй – 24 раза в течении 9600 ч работы, остальные за 2100 ч работы – 4,6 и 5 раз соответственно. Необходимо определить наработку на отказ системы.

3.16. Солнечная батарея состоит из 100 функционально необходимых равно надежных элементов. Определить, какой величиной интенсивности отказов должны обладать элементы, чтобы вероятность безотказной работы системы за 100 ч была не менее 0,9.

3.17. На основании обработки статистических данных установлено, что надежность асинхронного двигателя на этапе приработки (0...4000 ч) описывается законом Вейбулла с параметрами $\alpha = 0,22$ и $\lambda_0 = 1,75 \cdot 10^{-2}$, а на этапе нормальной эксплуатации до 20000

ч, экспоненциальным распределением ($\lambda_0 = 1,83 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$). Определить $P(1000)$, $P(10000)$, $P(20000)$, $f(20000)$.

3.18. Вероятность безотказной работы машины постоянного тока на этапе приработки имеет параметры $\lambda_0 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$ и $b = 1,2$. Определить вероятность безотказной работы и наработку до отказа машины за $t = 400 \text{ ч}$.

3.19. Сравнить между собой наработку до отказа двух неремонтируемых объектов, имеющих функцию надежности:

$$P_1(t) = \exp(-3,7 \cdot 10^{-4}t), \quad P_2(t) = 1,5 \exp(-10^{-4}t) + 1,1 \exp(-0,5 \cdot 10^{-3}t).$$

3.20. Средний выход осветительных приборов в ремонтной мастерской за время $t = 1500 \text{ ч}$ составил 28 шт, какова вероятность того, что за время 300 ч возникнет 6 отказов.

3.21. Тиристорный преобразователь имеет параметры нормального распределения $m_t = 1200 \text{ ч}$ и $\sigma_t = 480 \text{ ч}$. Определить значение вероятности безотказной работы и интенсивности отказов для $t = 200 \text{ ч}$.

3.22. Определить, какой должна быть наработка до отказа электрической машины, чтобы вероятность безотказной работы была 0,9 в течение наработки 10000 ч.

3.23. Сравнить между собой наработку до отказа двух неремонтируемых объектов, имеющих функцию надежности:

$$P_1(t) = \exp(-2,5 \cdot 10^{-3}t),$$

$$P_2(t) = 0,7 \exp(-4,1 \cdot 10^{-3}t) + 0,08 \exp(-0,22 \cdot 10^{-3}t).$$

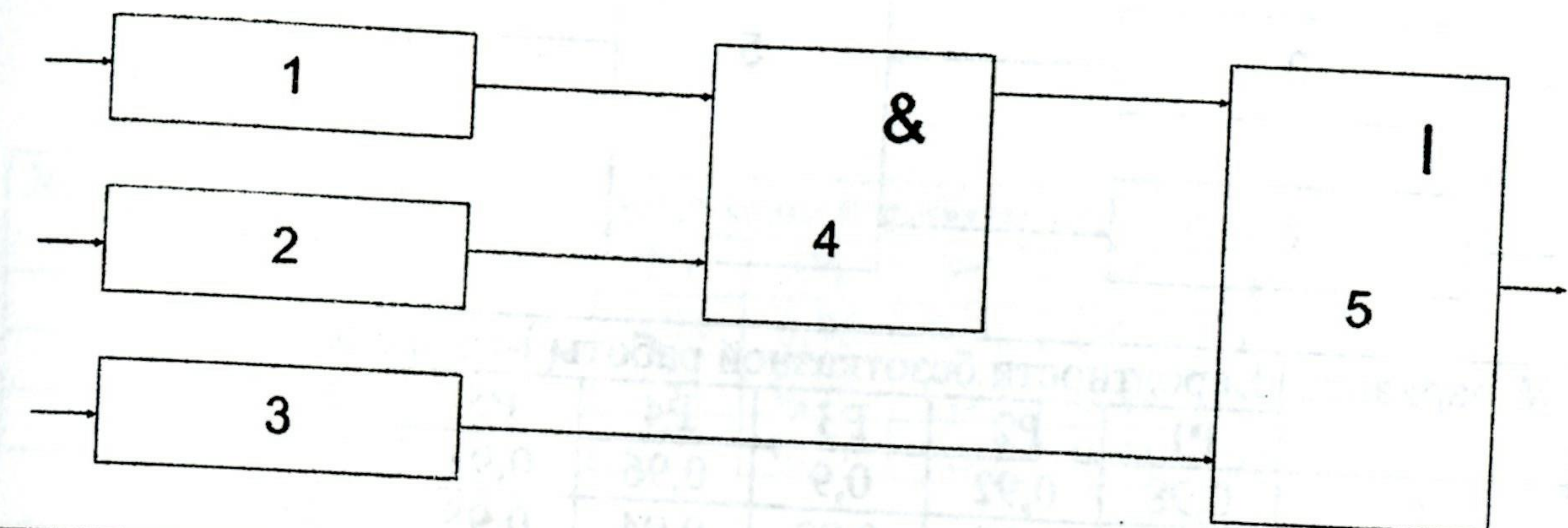
3.24. Приемный пункт по ремонту электробытовой аппаратуры получает в среднем 5 заявок на ремонт в день. Какова вероятность того, что за 1 час он получит 2 заявки.

Практическая работа № 4

Определение показателей надежности невосстанавливаемых резервированных систем с использованием расчетно-графических схем.

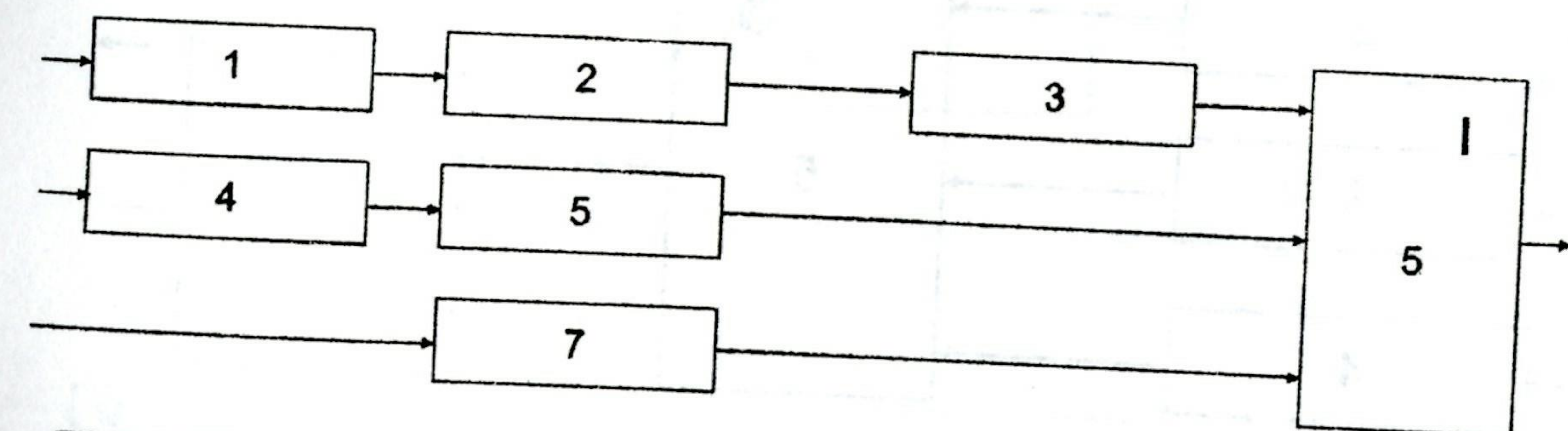
Схемы соединений элементов.

Схема 1



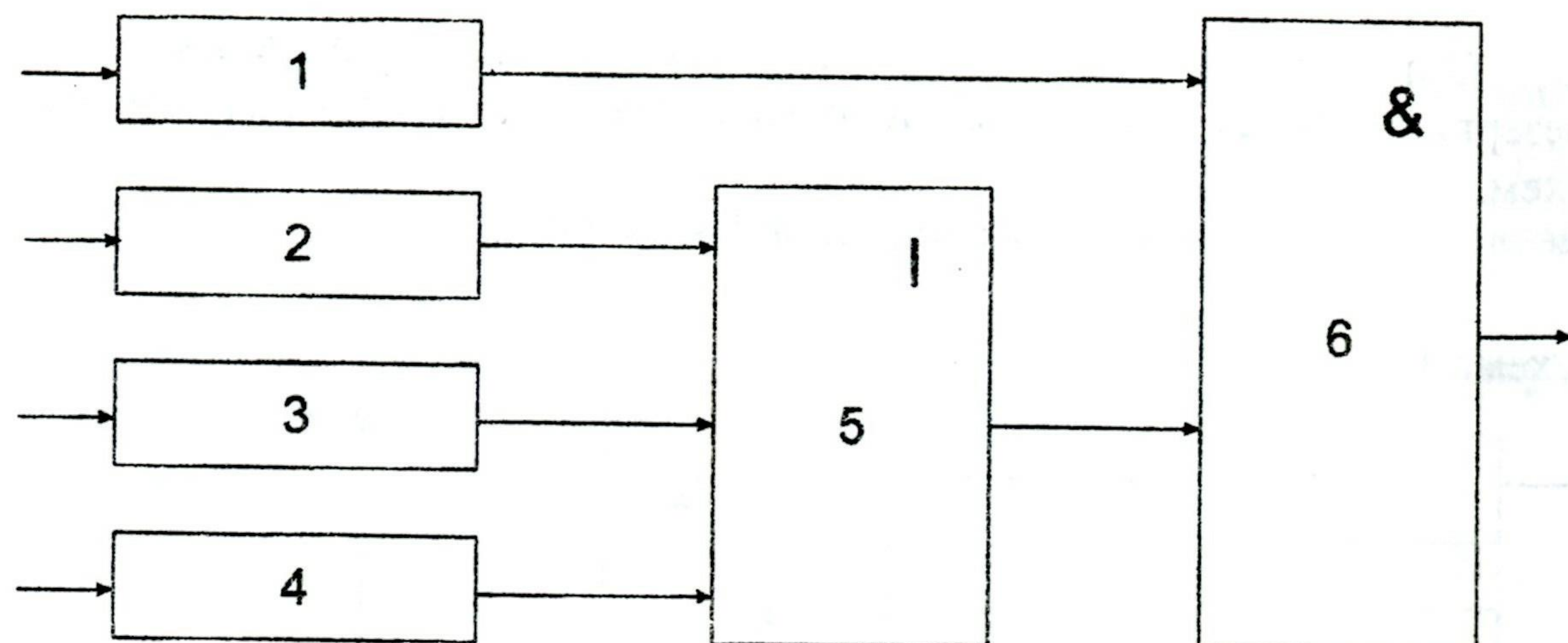
№ варианта	Вероятности безотказной работы i-го элемента				
	P1	P2	P3	P4	P5
1	0,98	0,92	0,9	0,96	0,93
2	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95
3	0,91	0,93	0,95	0,97	0,99

Схема 2



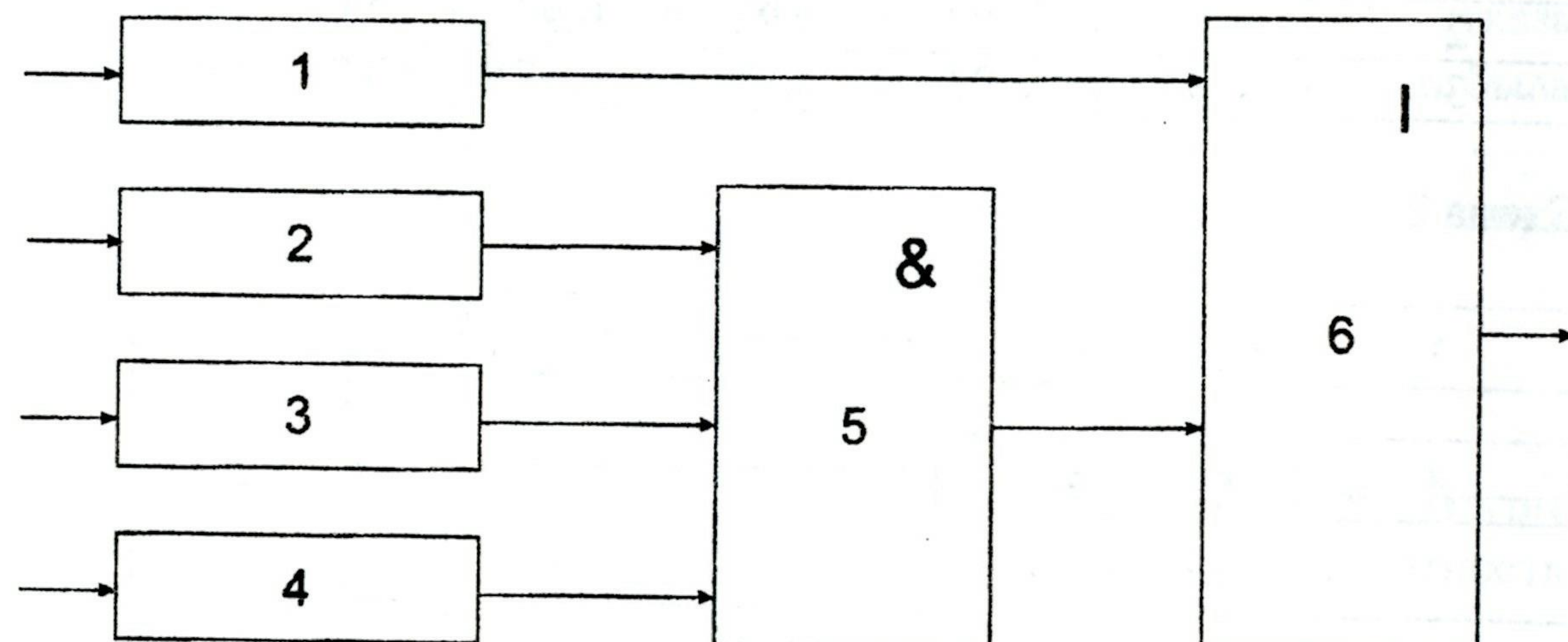
№ варианта	Вероятности безотказной работы i-го элемента						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
1	0,99	0,9	0,92	0,96	0,94	0,93	0,94
2	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,95	0,97
3	0,91	0,93	0,95	0,97	0,99	0,91	0,92

Схема 3



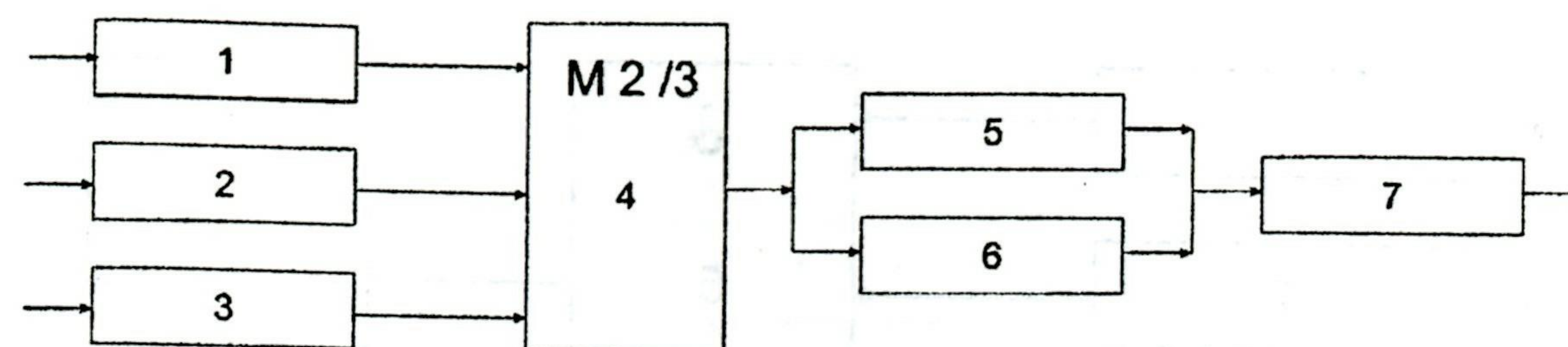
№ варианта	Вероятности безотказной работы i-го элемента					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1	0,98	0,92	0,9	0,96	0,93	0,95
2	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,89
3	0,91	0,93	0,95	0,97	0,99	0,85

Схема 4



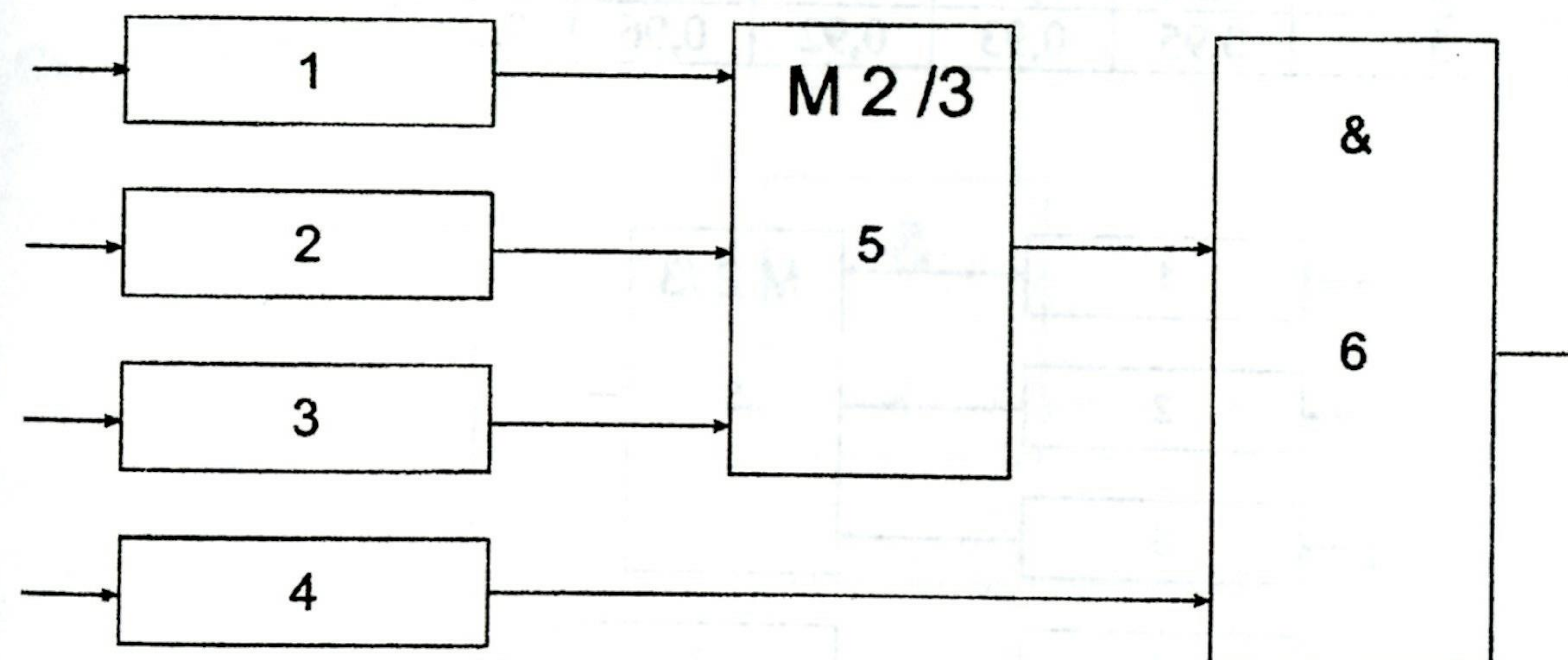
№ варианта	Вероятности безотказной работы i-го элемента					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1	0,93	0,95	0,9	0,91	0,98	0,99
2	0,94	0,92	0,98	0,94	0,91	0,81
3	0,95	0,93	0,92	0,96	0,99	0,92

Схема 5



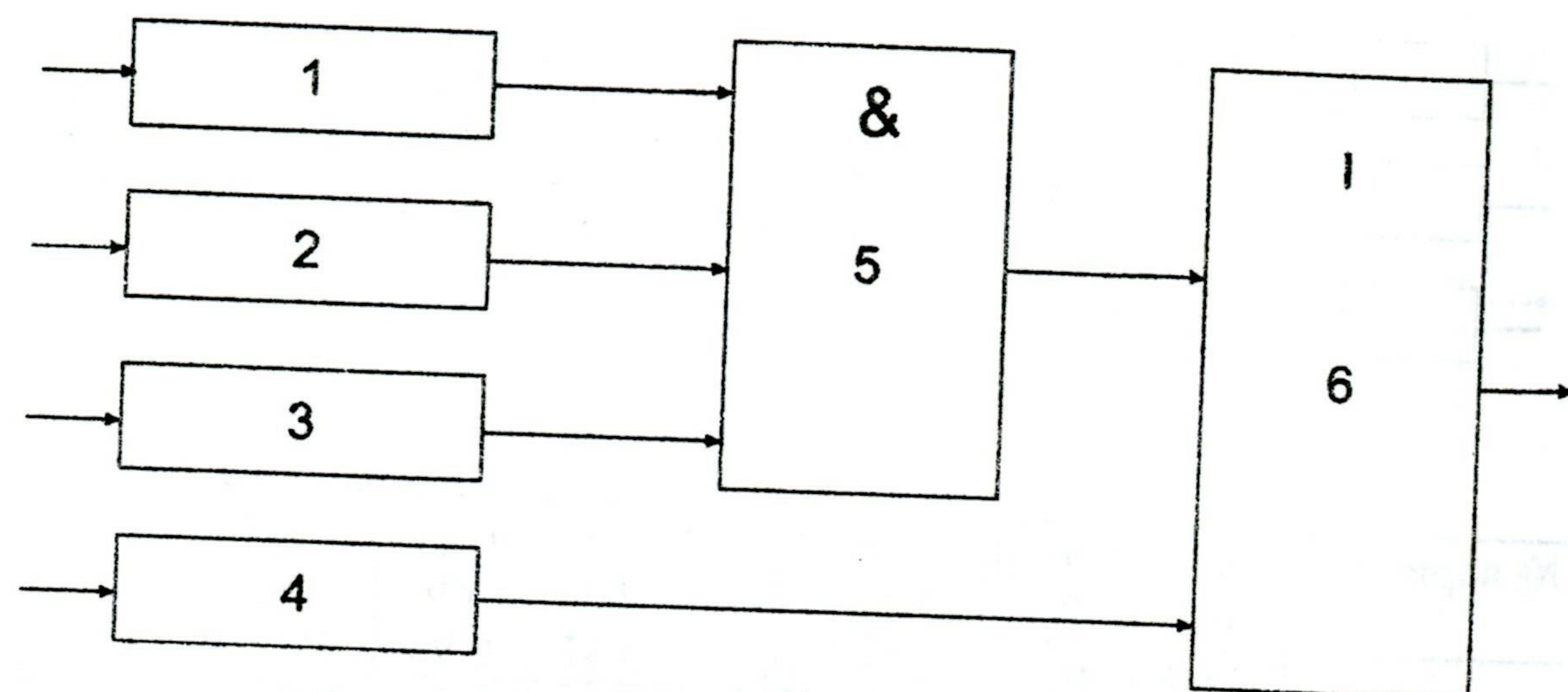
№ варианта	Вероятности безотказной работы i-го элемента						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
1	0,99	0,9	0,94	0,96	0,91	0,93	0,9
2	0,96	0,94	0,91	0,94	0,95	0,89	0,96
3	0,98	0,97	0,95	0,97	0,97	0,94	0,93

Схема 6



№ варианта	Вероятности безотказной работы i-го элемента					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1	0,91	0,93	0,2	0,94	0,95	0,99
2	0,94	0,94	0,98	0,91	0,91	0,96
3	0,95	0,93	0,98	0,96	0,89	0,95

Схема 7



№ варианта	Вероятности безотказной работы i-го элемента					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1	0,93	0,95	0,9	0,91	0,98	0,99
2	0,94	0,92	0,98	0,94	0,91	0,81
3	0,95	0,93	0,92	0,96	0,99	0,92

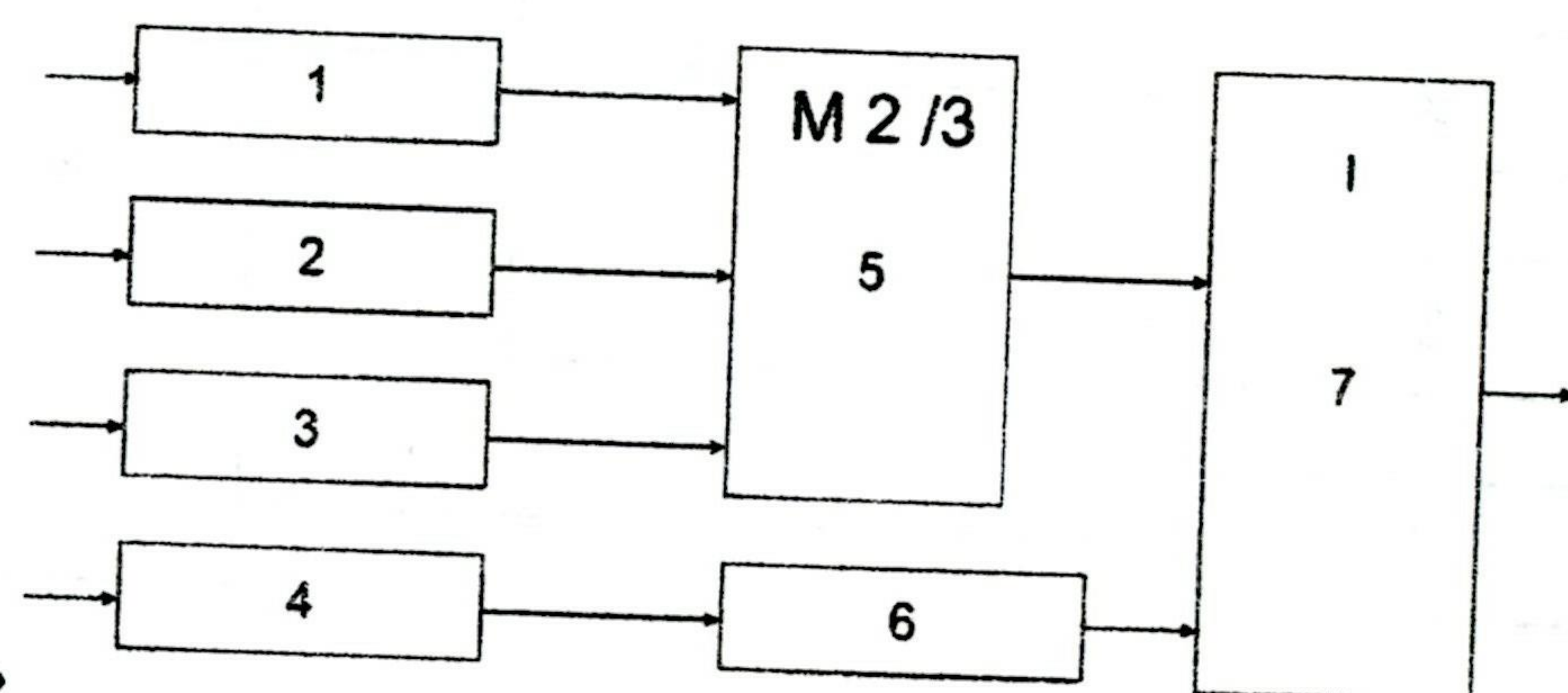
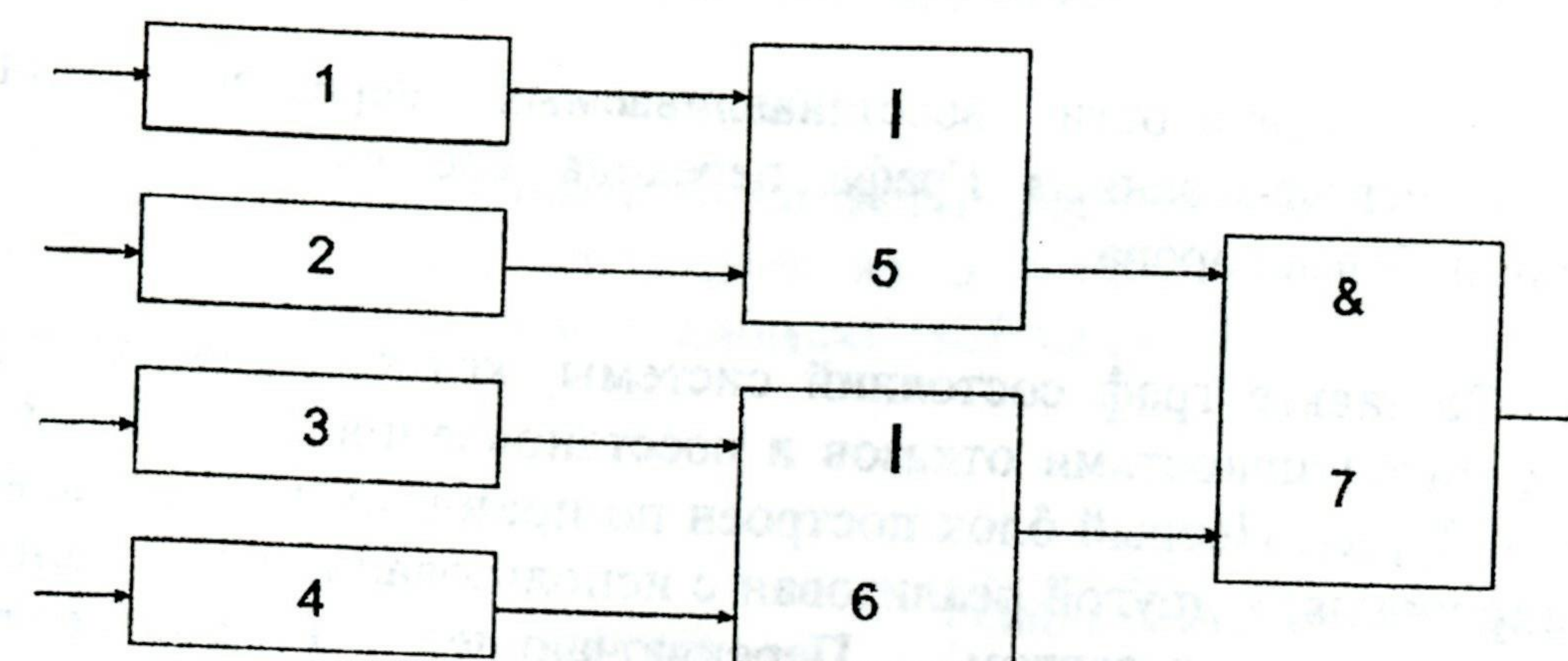


Схема 8

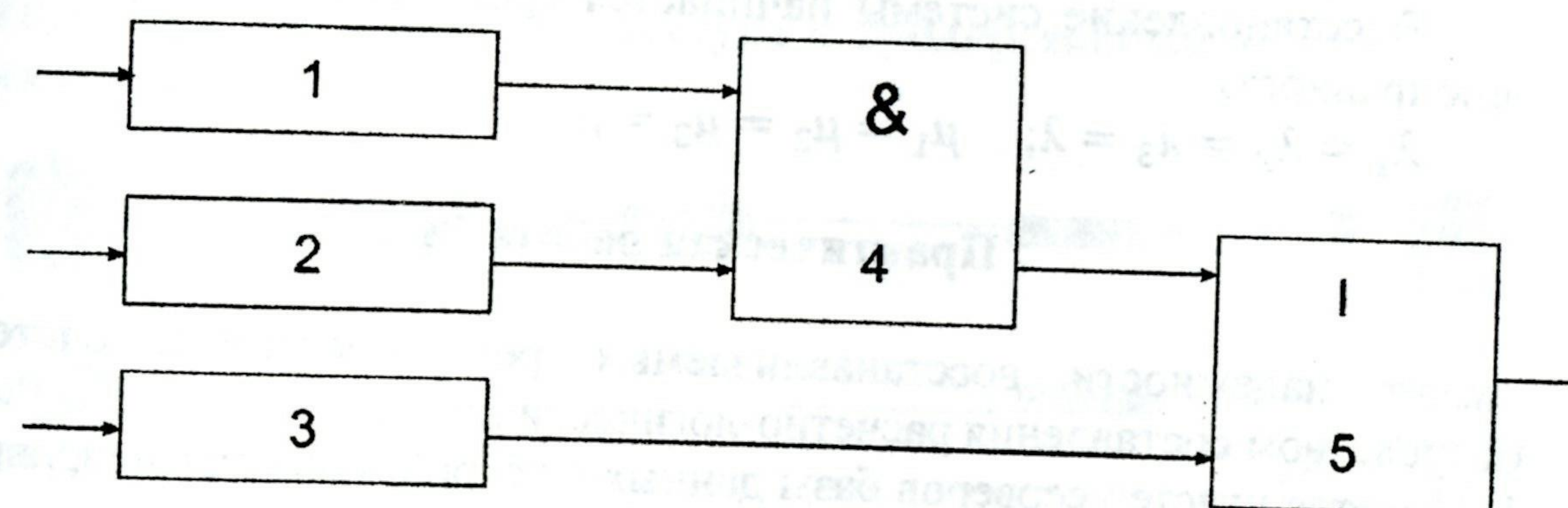
№ варианта	Вероятности безотказной работы i-го элемента						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
1	0,92	0,91	0,9	0,91	0,95	0,97	0,93
2	0,94	0,91	0,95	0,92	0,91	0,91	0,95
3	0,95	0,93	0,92	0,96	0,99	0,95	0,98

Схема 9



№ варианта	Вероятности безотказной работы i-го элемента						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
1	0,94	0,95	0,92	0,97	0,95	0,97	0,98
2	0,93	0,91	0,95	0,91	0,94	0,92	0,95
3	0,91	0,92	0,92	0,96	0,99	0,95	0,97

Схема 10



№ варианта	Вероятности безотказной работы i-го элемента				
	P1	P2	P3	P4	P5
1	0,94	0,97	0,92	0,99	0,9
2	0,95	0,96	0,96	0,94	0,99
3	0,91	0,93	0,92	0,93	0,97

Практическая работа № 5

Расчет надежности восстанавливаемых нерезервированных систем с использованием Графа перехода состояния системы и уравнений Колмогорова.

1. Составьте граф состояний системы, которая содержит два блока с интенсивностями отказов и восстановления соответственно λ_1, μ_1 и λ_2, μ_2 . Первый блок построен по принципу мажоритарного резервирования, а другой реализован с использованием замещения с ненагруженным резервом. Переключающее приспособление считается безотказным.

2. В состав ИС управления объектом входит 3 канала передачи данных. Для управления объектом управления достаточно двух каналов управления. Составить граф переходов и оценить вероятность доведения информации до объекта управления в межрегламентный период с помощью уравнений Колмогорова при следующих допущениях:

Достоверность непрерывного контроля абсолютна;

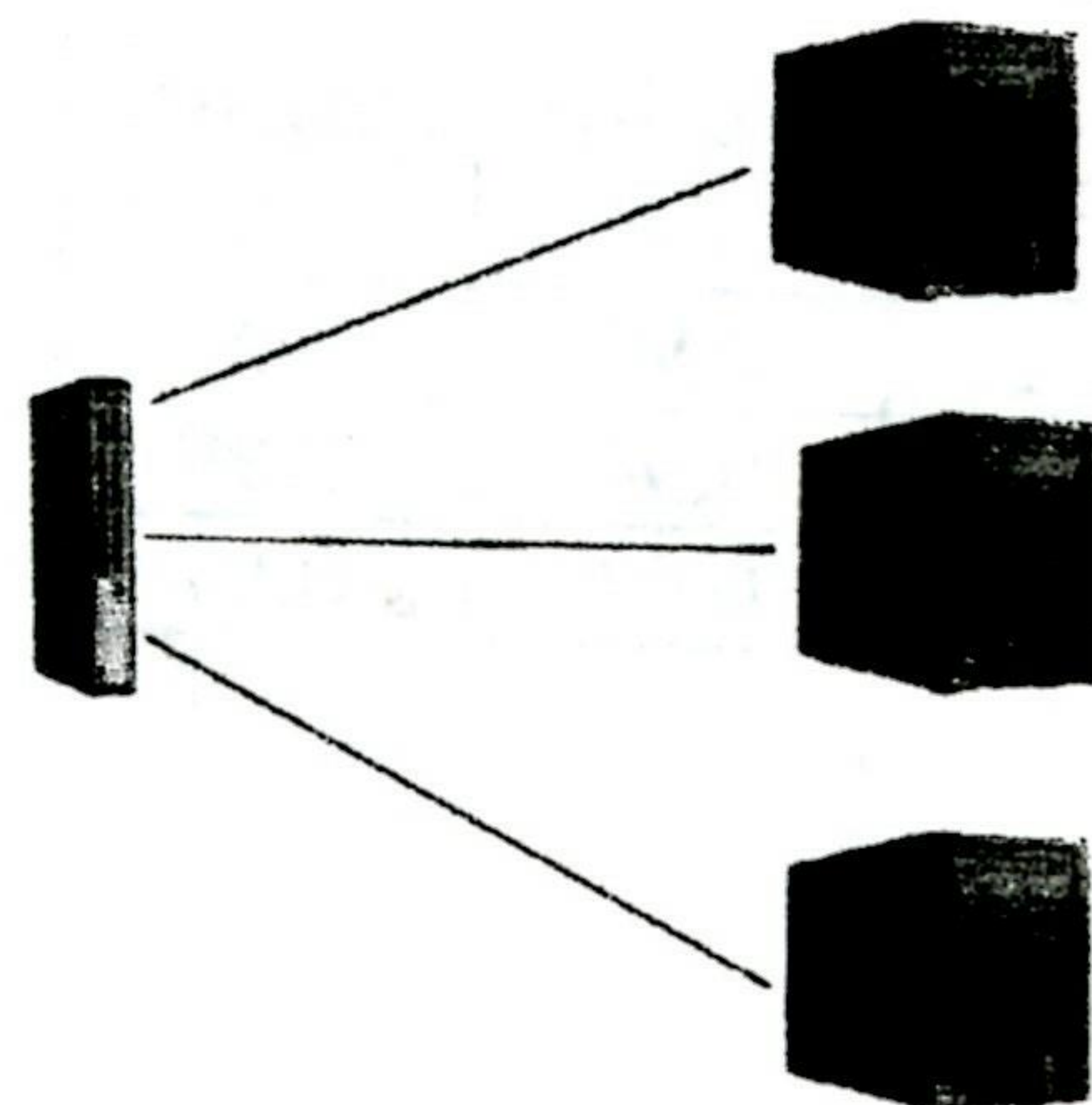
Восстановление системы начинается сразу после обнаружения неисправности.

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda; \quad \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu$$

Практическая работа № 6

Расчет надежности восстанавливаемых резервированных систем посредством составления расчетно-логических схем.

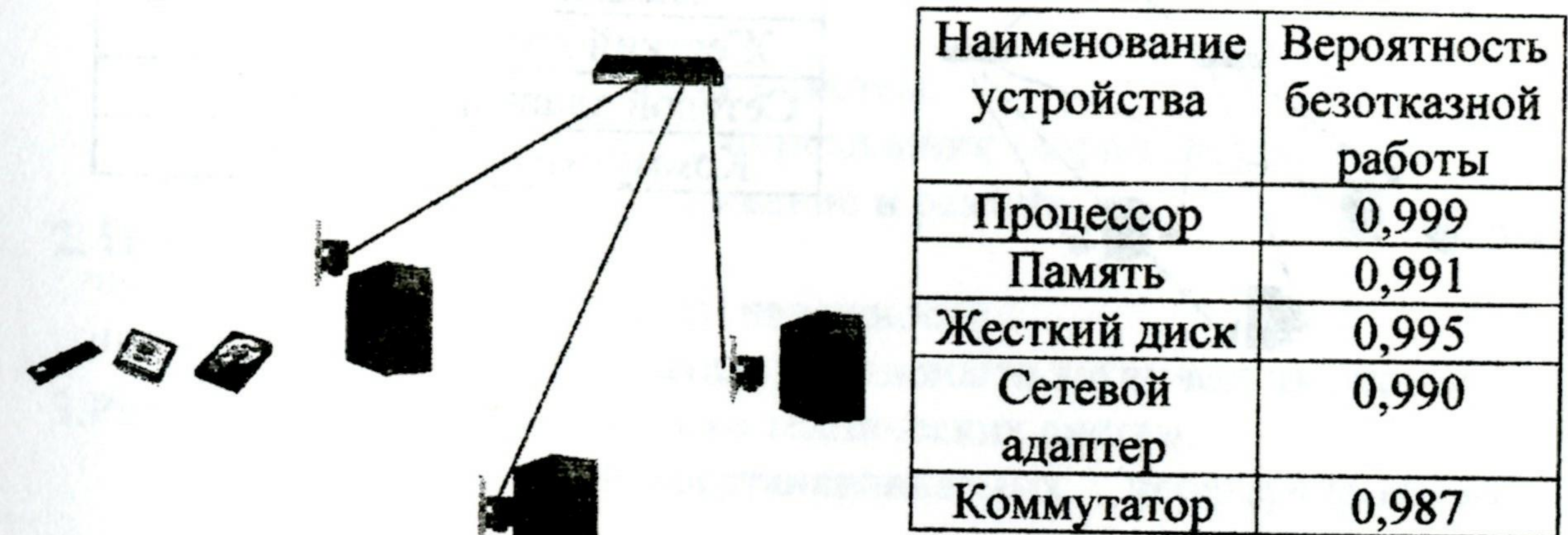
1. Имеется кластер серверов базы данных с устройством балансировки нагрузки.



Наименование устройства	Вероятность безотказной работы
Сервер БД	0,95
Устройство балансировки нагрузки	0,90

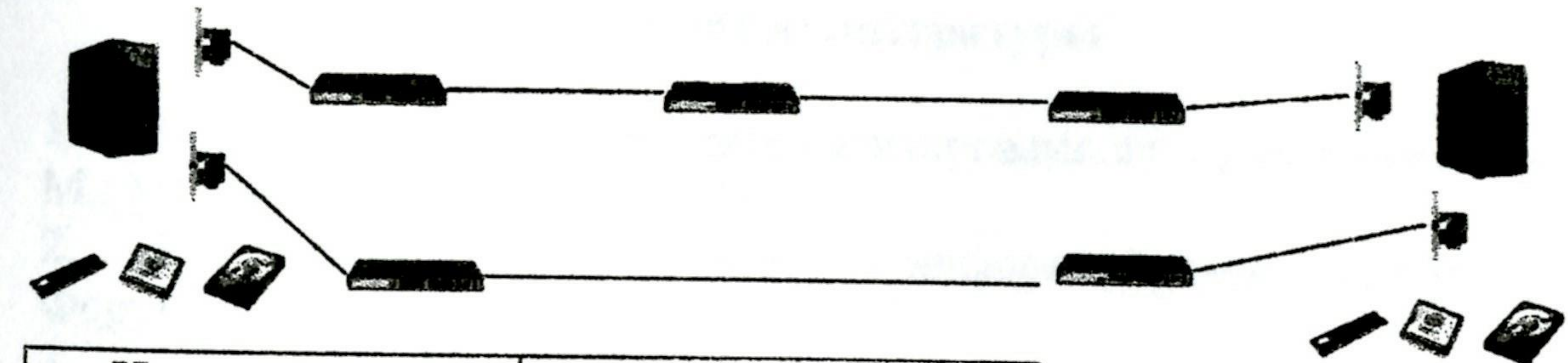
Задание: Определить вероятность безотказной работы кластерной схемы.

2. Определить вероятность безотказной работы локальной сети на основе коммутатора, состоящей из 3 компьютеров с сетевыми адаптерами, процессором и памятью. ВБР каждого элемента указаны в таблице.



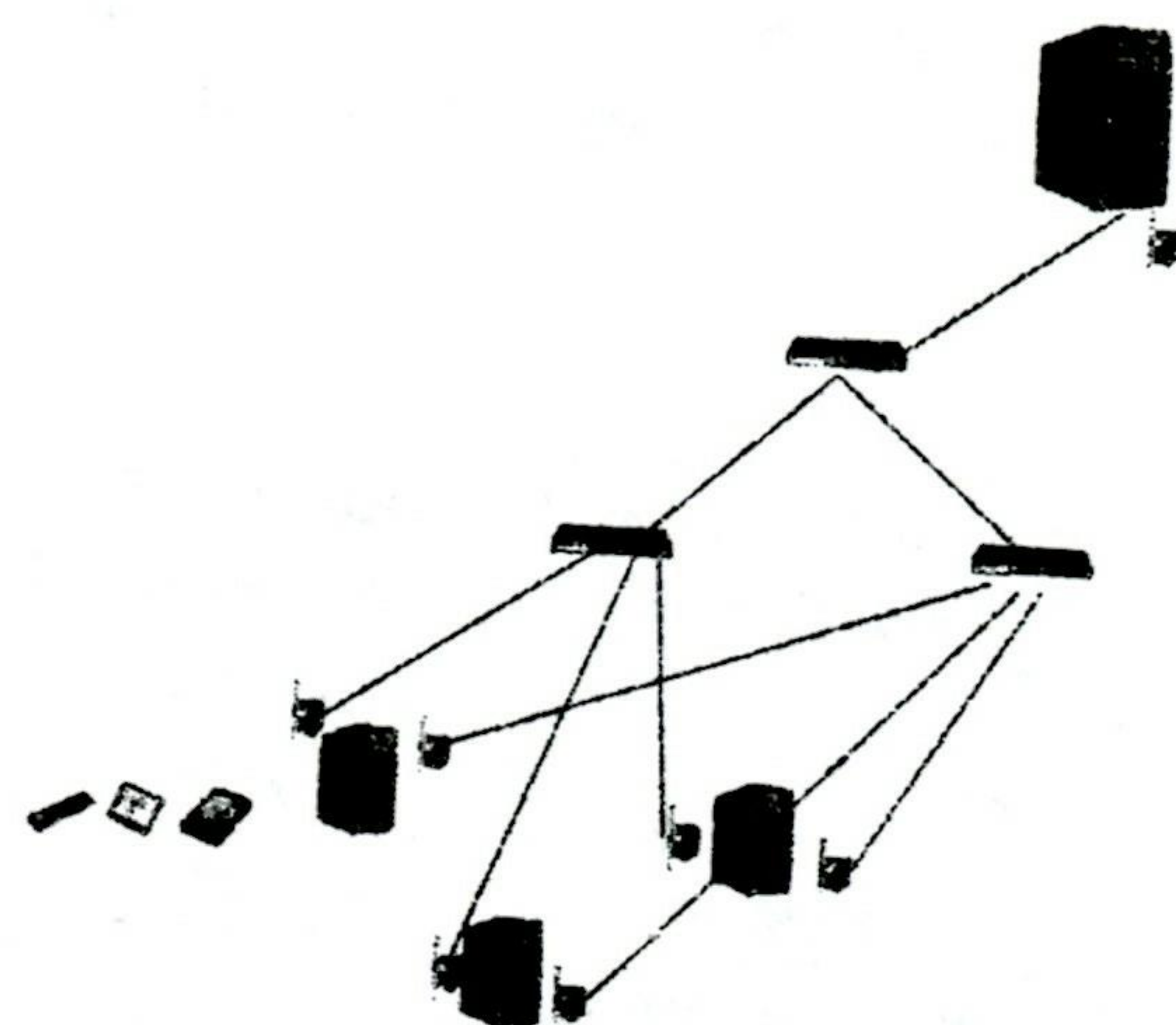
Наименование устройства	Вероятность безотказной работы
Процессор	0,999
Память	0,991
Жесткий диск	0,995
Сетевой адаптер	0,990
Коммутатор	0,987

3. Определить вероятность безотказной работы системы состоящей из двух серверов удаленного доступа с дублированным каналом связи между ними.



Наименование устройства	Вероятность безотказной работы
Процессор	0,999
Память	0,991
Жесткий диск	0,995
Сетевой адаптер	0,990
Маршрутизатор	0,985

5. Определить вероятность безотказной работы такой схемы информационной системы:



Наименование устройства	Вероятность безотказной работы
Процессор	0,999
Память	0,991
Жесткий диск	0,995
Сетевой адаптер	0,990
Коммутатор	0,987

Содержание:

Предисловие

1. Обеспечение качества и надежности при проектировании технических систем.
 - 1.1 Понятие качества и надежности. Роль надежности в обеспечении качества.
 - 1.2 Объект изучения теории надежности.
 - 1.3 Жизненный цикл изделия и методы обеспечения надежности на различных его этапах.
 - 1.4 Методы обеспечения надежности на различных этапах жизненного цикла.
 - 1.5 Элементы технических систем.
 - 1.6 Основные понятия и определения теории надежности
 - 1.7 Техническое обслуживание и ремонт
2. Показатели надежности.
 - 2.1 Единичные показатели надежности.
 - 2.2 Комплексные показатели надежности технических систем.
3. Расчет параметров надежности технических систем.
 - 3.1 Надежность невосстанавливаемых нерезервированных систем.
 - 3.2 Надежность восстанавливаемых нерезервированных систем.
4. Практические работы.

Список литературы

1. И.П.Норенков «Основы автоматизированного проектирования»-М.: МГТУ им Н.Э.Баумана, 2006.
2. В.В.Коваленко «Проектирование информационных систем»-М.: Форум, 2012.
3. С.И. Малафеев, А.И. Копейкин «Надежность технических систем»-СПб.: Лань, 2012.
4. А.Н.Дорохов, В.А. Керножицкий, А.Н. Миронов, О.Л. Шестопалова «Обеспечение надежности сложных технических систем» СПб.: Лань, 2011.
5. В.А.Каштанов, А.И.Медведев «Теория надежности сложных систем» -М.: Физматлит, 2010.

Учебное пособие

Акимов Валентин Андреевич

Крыжановская Татьяна Георгиевна

Надежность информационных систем

Под редакцией составителей.

Оригинал-макет подготовлен редакционно-издательским отделом
Университета машиностроения

Подписано в печать 13.12.2013 Формат 60х90 1/16. Бумага 80 г/м²

Гарнитура «Таймс». Ризография. Усл. печ. л. 3 п.л.

Тираж 30 экз. Заказ № 243-13

Университет машиностроения

107023, Москва Большая Семеновская ул., 38