

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И ЗАДАНИЯ
К КОНТРОЛЬНЫМ РАБОТАМ**

по курсу «Теория технических систем»

для студентов специальности 7.090202 «Технология машиностроения»
дневной и заочной форм обучения

Утверждено
редакционно-издательским
советом университета,
протокол № 1 от 27.02.04 г.

ХАРЬКОВ НТУ «ХПИ» 2004

Методические указания и задания к контрольным работам по курсу «Теория технических систем» для студентов специальности 7.090202 «Технология машиностроения» дневной и заочной форм обучения / Сост.: В. А. Федорович, П. И. Литовченко. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2004. – 40 с.

Составители: В. А. Федорович, П. И. Литовченко

Рецензент: Н. Ф. Наконечный

Кафедра резания материалов и режущих инструментов

«Методические указания и задания к контрольным работам» рекомендуются для использования при выполнении контрольных работ по дисциплине «Теория технических систем» студентами дневной и заочной форм обучения специальности «Технология машиностроения». Содержат теоретические материалы, методики структурного моделирования технических систем и расчета параметров их надежности, необходимые при выполнении контрольной работы. Приводится пример выполнения контрольной работы и рекомендации по ее оформлению. В приложениях приведены варианты индивидуальных заданий для самостоятельного выполнения.

Рисунков – 11, таблиц 1, приложений 3 (3 таблицы), перечень рекомендованной литературы – 10 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ПАРАМЕТР РАСЧЕТА ИХ НАДЕЖНОСТИ.....	5
1.1. Общие понятия теории технических систем и системотехники	5
1.2. Структура и модели технических систем	9
1.3. Анализ структуры технических систем	12
1.4. Надежность функционирования технических систем.....	16
1.5. Расчет показателей надежности ТС	16
2. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ	21
2.1. Выбор исходных данных	17
2.2. Выполнение анализа графа структуры ТС	18
2.3. Расчет вероятности безотказной работы ТС	19
2.4. Оформление контрольной работы.....	21
ЛИТЕРАТУРА	23
ПРИЛОЖЕНИЯ	27

ВВЕДЕНИЕ

«Теория технических систем» (ТТС) относительно молодая наука и недавно является предметом изучения в стенах высших научных учреждений. По этой причине, дисциплина оперирует не совсем устоявшейся терминологией, которая изменяется в зависимости от авторов, литературных источников, посвященных изучению ТС.

В соответствии с программой и тематическим планом изучения дисциплины «Теория технических систем» большую часть материала дисциплины студенты заочной формы обучения изучают самостоятельно, без непосредственного руководства преподавателя. При изучении дисциплины студенты должны усвоить теоретический материал и приобрести практические навыки изучения, математического и структурного моделирования и оценки технических систем.

Предлагаемая контрольная работа, должна обобщить результаты изучения теоретического материала и поэтому состоит из двух частей:

- реферативное изложение самостоятельно изученного теоретического материала;
- практические расчеты, связанные с выполнением анализа структуры и оценкой надежности функционирования технических систем.

Первую часть контрольной работы студенты выполняют полностью самостоятельно путем работы с литературой, которая рекомендуется для теоретического вопроса.

«Теория технических систем» (далее ТТС) является достаточно новой дисциплиной не только по времени ее преподавания, но и по времени ее создания, поэтому в настоящее время существует дефицит литературы по ТТС. По этой причине, для облегчения выполнения второй, практической части задания, данная работа содержит не только варианты контрольных заданий, методические указания по их выполнению и пример выполнения, а и теоретическое обоснование материала, которое необходимо для выполнения расчетов.

Теоретическое обоснование представляет собой сжатое изложение материала по важнейшим, на взгляд авторов, темам: «Технические системы, их структура и модели» и «Надежность функционирования технических систем». Теоретическое обоснование является содержанием первой части данной работы. Во второй части работы приведен пример выполнения варианта контрольного задания.

Прежде чем приступить к самостоятельному выполнению задания рекомендуется внимательно изучить рекомендованную в конце данных методических указаний литературу, выучить теоретическое обоснование и правильно выбрать свой вариант задания.

1. АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ИХ НАДЕЖНОСТИ

1.1. Общие понятия теории технических систем и системотехники

Сделаем попытку изложить концепцию современного понимания теории технических систем.

Цель теории – привести все знания относительно технических систем в единый комплекс понятий, определений и положений, которые базируются на сущности и закономерностях структуры, создания и использования технических систем, а не на отдельных эмпирических данных о технических системах.

Структура теории должна содержать основные положения, которые определяются более детально целями этой теории (назначение, структура, свойства, эволюция и пр.)

В соответствии с областью использования различают следующие **виды теории**:

- *общую теорию технических систем*, которая справедлива для всех технических систем;
- *специальные теории*, которые конкретизируют общую теорию для отдельных классов, типов или видов технических систем.

Структура специальной теории также может быть иерархической (например, теория станков, теория металлообрабатывающих станков, теория токарных станков).

Особое положение занимают специальные теории, которые применяются в нескольких областях техники, например, теория механизмов, теория деталей машин и т.д.

На современном этапе развития науки и техники любые технические объекты от швейной иглы до космического корабля рассматриваются как *технические системы*. Такой подход позволяет создать единые методы разработки, проектирования, производства и эксплуатации технических систем разных уровней сложности и разного назначения.

Фундаментальным понятием техники является понятие «система», поэтому дадим определение именно этому понятию.

Система – целостная совокупность элементов, которые имеют важные устойчивые связи между собой, определяющие структуру и организацию, качество, которые присущи всей системе в целом, но не присущи ни одному ее элементу в отдельности.

Анализируя приведенное определение системы, можно сделать вывод, что *система* – это целостное образование, и в ее составе могут быть выделены целостные объекты – *элементы*. Кроме того, *мощность связей между элементами системы значительно превышает мощность связей этих самых элементов с элементами, которые не входят в состав системы*.

Исходя из определения системы, можем провести распределение систем на классы, то есть, провести их классификацию (рис. 1).

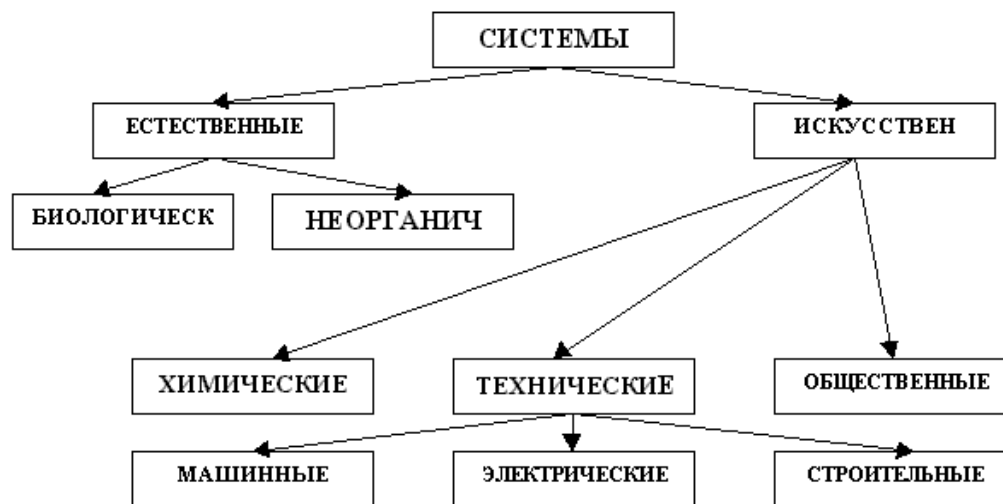


Рисунок 1 – Общая классификация систем

Предметом изучения данной дисциплины являются *технические системы (ТС)*.

Техническая система – это реально существующее устройство созданное человеком или автоматом, предназначенное для удовлетворения определенной потребности.

К **ТС** можно отнести отдельные машины, аппараты, приборы, разные орудия труда, одежду, дома, сооружения и т.п.

К **ТС** будем относить, с одной стороны, *элементы*, из которых складываются вышеперечисленные **ТС** – машины, аппараты и т.п., с другой стороны – *комплексы* взаимосвязанных машин, аппаратов и т.п. Как видим к **ТС** можно отнести самолет и утюг, мачту ЛЭП и лопату, компьютер и туфли, завод и болт.

Существует иерархическое подчинение **ТС** разных уровней. Так, например, машины или станки, которые входят в состав технологической линии или цеха, могут состоять из агрегатов или блоков, которые, в свою очередь, могут состоять из узлов и деталей. В связи с этим целесообразно ввести понятие *подсистемы*.

Подсистема – техническая система, которая входит в состав системы высшего уровня как составной элемент.

Жизненный цикл ТС, как и любого изделия, состоит из следующих этапов:

- проектирование;
- производство;
- эксплуатация;
- утилизация.

Соответственно определению, техническая система появляется «на свет» в результате возникновения потребности в ней. От появления потребности до начала производства ТС проходит процесс преобразования потребности, который осуществляется, в основном, на основе идей и их описания, в законченный проект, который служит основой производства.

Все существующие системы распределяются на две основные группы:

1) система типа «*объект*» – то есть ТС, которая отвечает данному нами определению технической системы;

2) система типа «*процесс*» – организованный человеком процесс целенаправленного изменения с помощью технических средств некоторых объектов, вследствие которого достигается состояние этих объектов, необходимое для удовлетворения жизненных потребностей человека.

Объект (предмет, система, состояние), на который осуществляется действие, будем называть *операндом*, а сами процессы действия – *преобразованиями*. Воздействие на операнд выполняются *операторами*.

Процесс преобразований состоит из *операций*, которые выполняются в соответствии с алгоритмом. *Алгоритм* – однозначно определенная последовательность операций, которая устанавливается заранее один раз и сохраняется на протяжении всего процесса, или изменяется в зависимости от результата выполнения операции.

На основе объективных знаний о системах был разработан системный подход к изучению любых объектов и явлений, который заключается в следующем:

- любой объект рассматривается как *система*;
- при изучении объекта применяется *принцип иерархичности*, то есть, изучения на разных уровнях:
 - изучение самого объекта (собственный уровень);
 - изучение того же самого объекта, как элемента более сложной системы (вышестоящий уровень);
 - изучение того же самого объекта, в соотношении с его составными частями (нижестоящий уровень);
- применение *принципа интеграции*, который направлен на изучение интеграционных свойств и закономерностей систем и компонентов систем, раскрытие базовых механизмов интеграции;

- применение *принципа формализации*, который показывает, что системный подход нацелен на развитие и разработку методов описания, анализа и синтеза систем.

По своей сути система – это *совокупность конечного множества элементов*. Элемент и система являются относительными понятиями, поскольку любой элемент может вместе с тем являться системой меньших размеров, а система в свою очередь, может быть элементом (подсистемой) некоторой большей системы.

Система характеризуется набором параметров, которые полностью определяют ее назначение и способ функционирования. Рассмотрим некоторые важнейшие из этих параметров.

Состояние системы – совокупность значений свойств системы в определенное время.

Структура системы – характеризует внутреннюю организацию, порядок и построение системы, то есть, структура – это *совокупность элементов системы и отношений между ними*. Функционирование системы задается ее структурой, то есть, структура полностью определяет способ функционирования системы.

Окружение (окружающая среда) системы теоретически включает все, что не входит в данную систему. Под *реальным окружением* понимается наличие хотя бы одного элемента, который имел бы выход, соединенный с входом системы, или имел вход, соединенный с выходом системы.

Вход системы представляет связь «*окружающая среда – система*».

Выход системы представляет связь «*система – окружающая среда*».

Связи в системе (рис. 2) существуют, если конкретные выходы элемента (системы), вместе с тем, являются входами любого элемента (системы).

Связи могут быть *прямыми* (последовательными или параллельными), *обратными* или *комбинированными*; они могут быть *материального, энергетического* или *информационного* характера.

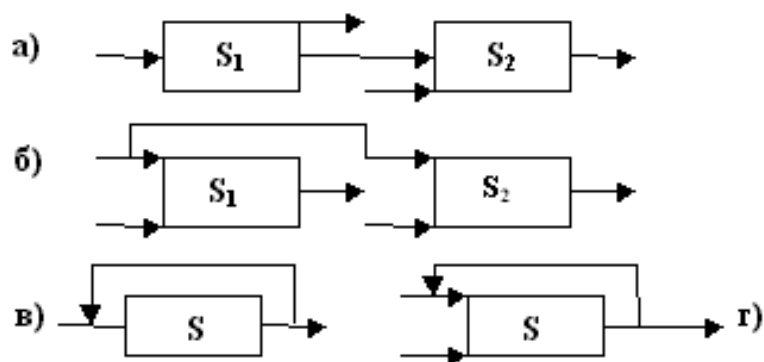


Рисунок 2– Виды связей:
 а – последовательные; б – параллельные;
 в – обратная; г – комбинированная

Приведенные определения иллюстрируются общей моделью системы, которая изображена на рис. 3.

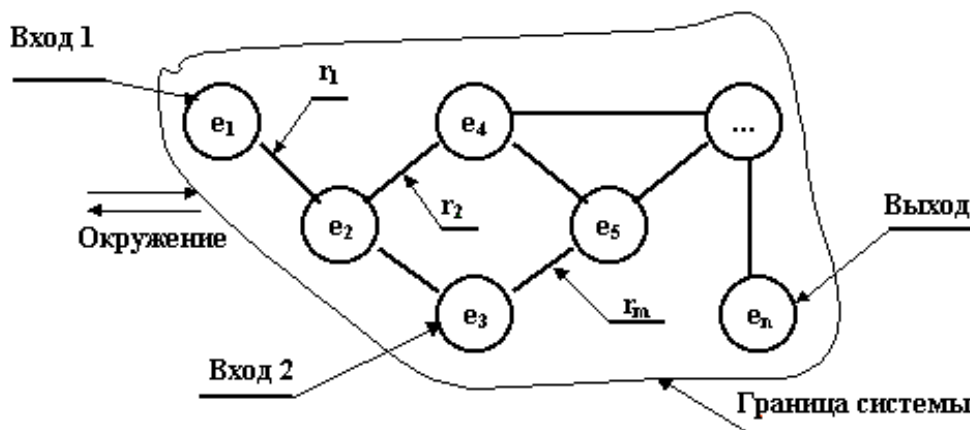


Рисунок 3 – Техническая система, ее элементы и окружение

При изучении и проектировании технических систем рассматриваются три характерных типа задач:

- задача *синтеза* – заданы характер функционирования и другие требования к системе; необходимо определить структуру, которая удовлетворяет этим требованиям;
- задача *анализа* – задана структура, необходимо определить функционирование системы.
- задача «*черного ящика*» – задана система, структура которой неизвестна или известна частично, необходимо определить ее функционирование и, возможно, структуру.

1.2. Структура и модели технических систем

Если дать формализованное определение *структуры технической системы*, то можно сказать, что это – *стойкая упорядоченность в пространстве и во времени ее элементов и связей*.

Систему можно изобразить, как совокупность блоков, исполняющих некоторые функциональные превращения, и связей между ними, при этом получим *структурную схему*, которая в обобщенном виде описывает структуру ТС. Рассмотрим пример построения такой схемы.

Структурная схема классической двухуровневой системы управления (рис. 4) содержит:

- управляемый процесс P с входом X и выходом Y ;
- три управляющих блока нижнего уровня K_1, K_2, K_3 , которые вырабатывают управляющее действие g_1, g_2, g_3 на основании характеристик состояния z_1^0, z_2^0, z_3^0 процесса P ;

- блок управления верхнего уровня K_0 , осуществляющий с помощью действий g_1^2, g_2^2, g_3^2 координацию работы блоков K_1, K_2, K_3 на основании информации z_1^1, z_2^1, z_3^1 о процессе P и воздействий, которые от них исходят.

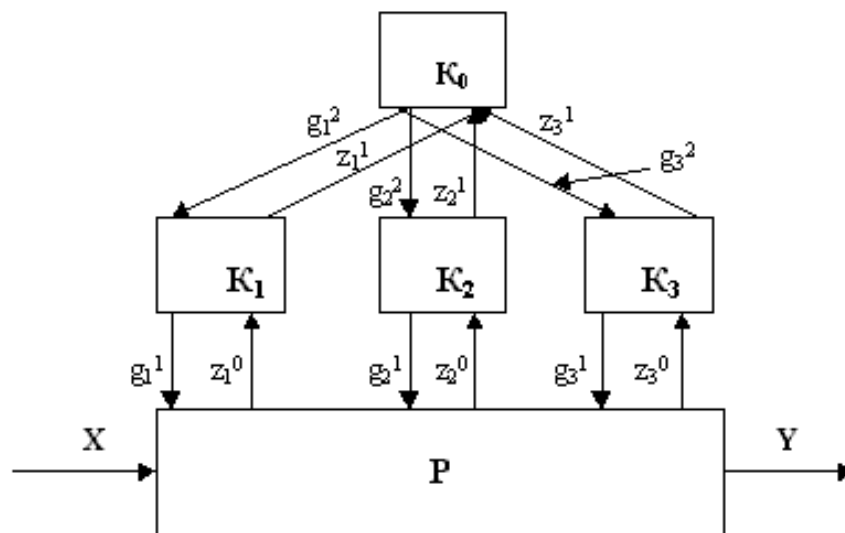


Рисунок 4 – Структурная схема двухуровневой системы управления

Структурная схема не является математической моделью структуры ТС, она представляет собой лишь переход от содержательного к математическому описанию структуры системы. Наибольшее распространение для формализованного описания структуры ТС получили *графы*.

Граф – это пары $G = (A, B)$, в которых A – это множество *вершин*, которые являются смежными; $B: A \rightarrow A$ – множество *ребер (дуг)*. Каждое ребро графа связывает две вершины, которые являются смежными. Вершины нумеруют, и если порядок сопредельных вершин имеет значение, то граф называют *ориентированным*.

Граф структуры ТС строят, используя структурную схему. При этом с вершинами графа сопоставляют блоки, а с ребрами – связи между блоками (рис. 5).

Рядом с графическими методами описания структур ТС, широко применяются аналитические методы их описания с помощью матриц. Например, ориентированный граф (см. рис. 5, б) задается *матрицей смежности* вершин

$$V = \|v_{ij}\|, \quad (1)$$

в которой $v_{ij} = 1$, если граф содержит ребро (ij) , и $v_{ij} = 0$ – в противном случае. Аналогично строится матрица неориентированного графа.

1.3. Анализ структуры технических систем

На основании построения графов и их анализа можно сказать, что граф – это модель структуры ТС, которая не дает никакой информации о свойствах ее элементов. Поэтому какой-либо анализ структуры ТС с помощью графов является топологическим. Рассмотрим основные этапы этого анализа.

1.3.1. Анализ элементов

На этом этапе важнейшей задачей является выделение элементов, которые отвечают *изолированным, висячим и тупиковым* вершинам графа. Объясним, что *изолированные вершины* – это те, что не инцидентны ни одному из ребер графа, *висячие* – это те, в которых невозможно попасть ни из одной другой вершины графа, *тупиковые* – те, из которых невозможно попасть ни в одну вершину графа. Например, граф на рис. 6 содержит одну изолированную вершину 12, висячие вершины 1, 2, 3 и не имеет тупиковых вершин.

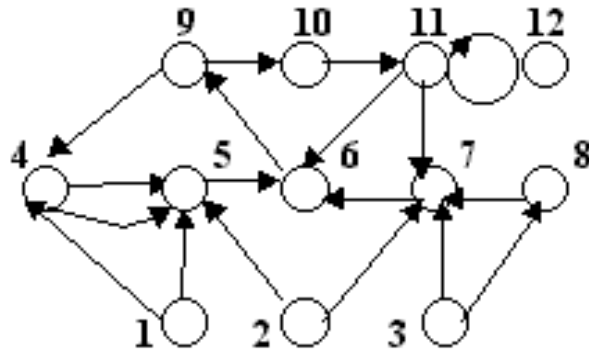


Рисунок 6 – К анализу элементов и связей структуры ТС

Отыскать изолированные, висячие и тупиковые вершины на графе можно с помощью аналитического метода, если причиненная матрица смежности графа $v^k = \sum_{i=1}^n v_{ik}$, у которой для каждой вершины $k(k=1),n$,

где n – количество вершин в графе, определяется вектор $v(k) = (v_k, v^k)$ с компонентами:

где n – количество вершин в графе, определяется вектор $v(k) = (v_k, v^k)$ с компонентами:

$$v_k = \sum_{j=1}^n v_{kj} ; \quad v^k = \sum_{i=1}^n v_{ik} . \quad (3)$$

Из уравнения (3) видно, что v_k – сумма элементов k -той строки, а v^k – сумма элементов k -того столбца. Тогда очевидно следующее:

- если $v_k = v^k = 0$, то вершина k будет изолированной;
- если $v_k = 0$; $v^k \neq 0$, то вершина является тупиковой;
- если $v_k \neq 0$; $v^k = 0$, то вершина является висячей.

Если граф содержит изолированные вершины, то это является признаком того, что допущены ошибки при формировании или при описании структуры.

Висячие вершины графа соответствуют входным элементам структуры, тупиковые – выходным ее элементам. Через эти элементы происходит процесс взаимодействия ТС с окружением.

1.3.2. Анализ связей

Целью анализа связей между элементами структуры является выявление петель, контуров и сильносвязанных подграфов. Петля – это наличие связей между входом и выходом одного и того же элемента. Например, граф на рис. 6 имеет петлю у вершины 11.

Контур характеризуется наличием пути (последовательности ребер и вершин), в котором начальная и конечная вершины совпадают. Пример – контуры, созданные ребрами, которые соединяют вершины 4–5–6–9–4 и 6–9–10–11–6.

Сильносвязанным является подграф, у которого все вершины взаимодостигаемы, то есть, из каждой из них можно попасть в любую другую.

Перечисленные дефекты графов усложняют структуру ТС и процесс ее анализа и моделирования. С целью избавления от них строят, так называемую, конденсацию исходного графа. Конденсация является значительно более простой, чем исходный граф, но сохраняет его основные свойства.

1.3.3. Анализ связности

Связность – наименьшее количество вершин (или ребер), изъятие которых из графа ведет к несвязности (содержит изолированные вершины) или тривиальности (имеет лишь одну вершину) графа.

Для оценки связности структур применяют показатель α , который характеризует относительную различность общего количества связей R структуры и количества связей R_{\min} , необходимой для связности этой структуры:

$$\alpha = \frac{R - R_{\min}}{R_{\min}} = \frac{R}{n - 1} - 1, \quad (4)$$

где n – общее количество вершин графа.

Значение R определяется с помощью матриц смежности:

- для ориентированных графов:

$$R = \sum_{i=1}^n v_i, \quad (5)$$

- для неориентированных графов:

$$R = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n v_i. \quad (6)$$

1.3.4. Анализ диаметра структуры

Диаметр структуры d – максимальное значение из множества длин кратчайших путей между любой из висячих i и любой из тупиковых вершин j , которая равна количеству ребер, составляющих этот путь, то есть:

$$d = \max(d_{ij}), \quad i \in I, \quad j \in J, \quad (7)$$

где d_{ij} – кратчайший путь между висячей вершиной i и тупиковой вершиной j ; I – множество висячих вершин; J – множество тупиковых вершин.

Диаметр структуры позволяет судить о ряде важнейших параметров ТС, в том числе, про ее надежность, инерционность и других.

1.3.5. Анализ сложности

Для оценки *сложности структуры* ТС используют показатель:

$$\rho = \frac{1}{m_1 m_2} \sum_{i=1}^{m_1} \sum_{j=1}^{m_2} \rho_{ij} - 1 \quad (8)$$

где m_1 и m_2 – количество висячих и тупиковых вершин в графе структуры, а ρ_{ij} – количество разных путей, которые ведут от i -й висячей вершины к j -й тупиковой вершине.

1.4. Надежность функционирования технических систем

Надежность – важнейшее качество ТС, которое в наибольшей степени определяет ее совокупную ценность. По этой причине, вопрос оценки и прогнозирования надежности функционирования ТС на разных этапах ее жизненного цикла имеет важное значение.

Соответственно ГОСТ, надежность – свойство ТС, которое состоит в способности ее выполнять определенные задачи в определенных условиях эксплуатации.

Наиболее сложными и важными для оценки надежности являются такие вопросы:

- задание целесообразных и оправданных требований по надежности к системам разного назначения;
- выбор показателя, который наиболее полно характеризует надежность.

На выбор показателя надежности влияют разные факторы, например:

- назначение ТС;
- характер процесса ее функционирования или использования;
- определенные требования к самому показателю – простота его физического представления, возможность его априорного расчета и исследовательской проверки.

По этим причинам, корректно оценивать надежность любой ТС единым показателем невозможно. Надежность является комплексным понятием и включает в свой состав такие свойства системы, как *безотказность*, *долговечность*, *ремонтпригодность*, *сохраняемость*. В зависимости от назначения ТС и условий ее эксплуатации, надежность оценивают по значению одного из этих свойств, или по их совокупности.

Прежде чем рассматривать составные части надежности и методы их оценки, дадим некоторые определения, необходимые для этого.

Работоспособность – состояние ТС, при котором она способна выполнять заданные функции, сохраняя при этом значения основных параметров в пределах нормы.

Отказ – событие, которое состоит в нарушении работоспособности ТС.

В теории надежности различают два основных типа отказов:

- внезапный отказ – мгновенный выход ТС из строя, после чего ее эксплуатация невозможна (например, электролампа, резистор, и т.п.);
- постепенный отказ, который характеризуется постепенным ухудшением характеристик ТС.

При расчетах надежности функционирования ТС, как правило, оценивают вероятность только внезапного отказа, поскольку постепенные отказы можно предупредить планово-профилактическими ремонтами и техническими обслуживанием (ТО).

Восстановление ТС – выявление отказа, устранение его причин и восстановление работоспособности системы.

Рассмотрим основные составные части надежности.

Безотказность – свойство ТС непрерывно сохранять работоспособность на протяжении определенного времени.

Долговечность – свойство ТС сохранять работоспособность к наступлению конечного состояния с перерывами для ремонта и ТО.

Ремонтпригодность – свойство ТС, которое состоит в ее приспособленности к восстановлению работоспособности в процессе ремонта и ТО.

Сохраняемость – свойство ТС непрерывно сохранять работоспособность в период хранения или транспортировки.

Учитывая сказанное, можно определить некоторые пути повышения надежности и эффективности функционирования ТС, например:

- повышение надежности составных частей и элементов ТС;

- введение в состав ТС резервных элементов, которые предназначены для замены тех, которые откажут;
- проведение технических обслуживаний ТС (контроль состояния ТС);
- минимизация затрат времени на восстановление (ремонт) ТС за счет повышения квалификации обслуживающего персонала.

1.5. Расчет показателей надежности ТС

Для решения проблемы оценки надежности ТС, необходимо дать точные определения основных показателей эффективности и надежности ее функционирования.

Показатели надежности ТС – техническая характеристика, которая количественно определяет одну или несколько свойств, составляющих надежность ТС (безотказность, ремонтпригодность, сохраняемость, долговечность).

1.5.1. Показатели безотказности и ремонтпригодности

- *Вероятность безотказной работы* – вероятность того, что в пределах заданной наработки отказа ТС не будет.
- *Средняя наработка до отказа* – математическое ожидание наработки ТС до первого отказа.
- *Средняя наработка на отказ* – отношение наработки возобновляемого ТС за некоторое время к математическому ожиданию числа отказов на протяжении этой наработки.
- *Среднее время восстановления* – математическое ожидание времени восстановления работоспособности.
- *Коэффициент готовности* – вероятность того, что ТС будет работоспособна в любой момент стационарного процесса эксплуатации.
- *Коэффициент оперативной готовности* – вероятность того, что ТС, которая находится в режиме ожидания, будет работоспособной в любой момент стационарного процесса эксплуатации, и, начиная с этого момента, будет работать безотказно на протяжении заданного интервала времени.
- *Интенсивность отказов* – условная плотность вероятности отказов не возобновляемой ТС, которая определяется (условная плотность) при условии, что к этому моменту отказа не возникало.

1.5.2. Показатели долговечности и сохраняемости

Эти показатели количественно оценивают такие свойства надежности, как долговечность и сохраняемость.

К ним в первую очередь можно отнести:

- *Средний межремонтный срок службы* – средний срок службы между сопредельными капитальными ремонтами ТС.

- *Средний срок службы до капитального ремонта* – средний срок службы от начала эксплуатации ТС до его первого капитального ремонта.
- *Средний срок службы до списания* – средний срок службы от начала эксплуатации ТС до его списания.
- *Средний срок сохраняемости* – математическое ожидание срока сохраняемости.

Указанные показатели надежности используются не одновременно все, а по мере потребности. Чаще всего применяется показатель *вероятность безотказной работы (БР)*, который в основном определяет надежность функционирования ТС. Также часто применяются такие показатели, как *интенсивность отказов, средняя наработка на отказ, средний межремонтный срок службы*.

Если рассмотреть основные показатели надежности, то можно заметить, что все они по своему характеру являются *случайными величинами*. По этой причине основным математическим аппаратом, который применяется для построения математических моделей надежности ТС и расчета ее параметров является *теория вероятностей и математическая статистика*. Ниже приведены некоторые методы расчета некоторых параметров надежности *невозобновляемых* ТС с применением этого математического аппарата.

Рассмотрим несколько примеров расчета показателей надежности. Поскольку вероятность безотказной работы ТС является главнейшим показателем надежности во всех дальнейших примерах, будем рассчитывать именно ее и под термином «надежность» будем понимать именно ее, а под термином «ненадежность» – вероятность отказа.

1.5.3. Расчет надежности нерезервированной ТС

Нерезервированная ТС представляет собой последовательное (по аналогии с проводниками в электротехнике) соединение n элементов, ни один из которых не имеет резерва на случай отказа (рис. 7), поэтому выход из строя одного элемента означает выход из строя всей ТС.

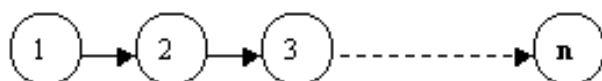


Рисунок 7 – Схема нерезервированной ТС

Надежность работы такой ТС можно рассчитать по зависимости:

$$P = p_1 p_2 p_3 \dots p_n = \prod_{i=1}^n p_i, \quad (9)$$

где P – надежность системы; $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$ – надежность отдельных элементов системы; n – количество элементов системы.

Если надежности отдельных элементов системы равны, то есть: $p_1 = p_2 = p_3 = \dots = p_n = p$, то зависимость (9) можно переписать в виде:

$$P = p^n \quad (10)$$

Если необходимо определить надежность p отдельных элементов ТС, при которой обеспечивается надежность P всей системы, то из формулы (10) имеем:

$$p = \sqrt[n]{P}.$$

Итак, при последовательном соединении нерезервированных элементов, надежность ТС равняется произведению надежностей всех элементов системы.

1.5.4. Расчет надежности резервированного элемента ТС

Как было сказано выше, для повышения надежности ТС, в их состав вводят резервные элементы для замены основных элементов, которые отказали. Схема резервирования ТС показана на рис. 8.

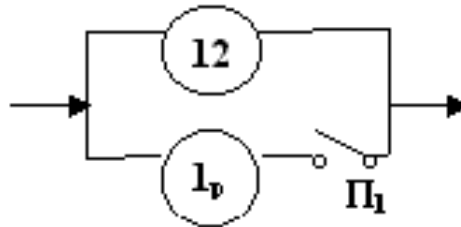


Рисунок 8 – Схема резервирования элемента ТС

Рассчитаем надежность элемента 1 с учетом его резерва – элемента 1_p . Сначала рассчитываем надежность резерва, который является участком с последовательным соединением резервного элемента 1_p и переключателя Π_1 . В соответствии с (9), надежность такого участка определится:

$$p_p = p_{1_p} p_{\Pi_1}, \quad (11)$$

где p_p – надежность резерва; $p_{1_p} p_{\Pi_1}$ – надежности, соответственно, резервного элемента 1 и переключателя Π_1 .

Надежность P_1 элемента 1 с учетом резерва определяем через ненадежность, которой является вероятность Q_1 противоположного события – его отказа:

$$P_1 = 1 - Q_1, \quad (12)$$

где ненадежность рассчитывается по зависимости:

$$Q_1 = q_1 q_p = (1 - p_1)(1 - p_p). \quad (13)$$

Подставив значения Q_1 из (13) в уравнение (12) с учетом (11) получим зависимость для определения надежности элемента P_1 :

$$P_1 = 1 - (1 - p_1) \left(1 - p_{1p} p_{\Pi_1} \right) \quad (14)$$

Итак, анализируя уравнения (13) – (14), можем сделать вывод, что при *параллельном соединении элементов ТС их надежности перемножаются*.

1.5.5. Расчет надежности ТС, которая имеет в своем составе резервированные элементы

Схема такой ТС приведена на рис. 9. Если продолжить аналогию с электротехникой, такую систему можно рассматривать как электрическую цепь со смешанным (параллельно-последовательным) соединением элементов. Получим зависимость для расчета надежности такой системы.

Для этого заменим надежность элемента 2 и его резерва 2_p эквивалентной, которая в соответствии с зависимостью (14) будет определена:

$$p_{2e} = 1 - (1 - p_2) \left(1 - p_{2p} p_{\Pi_2} \right). \quad (15)$$

Теперь общую вероятность ТС, которая изображенная на рис. 9, получим, если подставим в зависимость (1) вместо вероятности значения ее эквивалентной величины с учетом резерва:

$$P = p_1 \left[1 - (1 - p_2) \left(1 - p_{2p} p_{\Pi_2} \right) \right] p_3 \dots p_n.$$

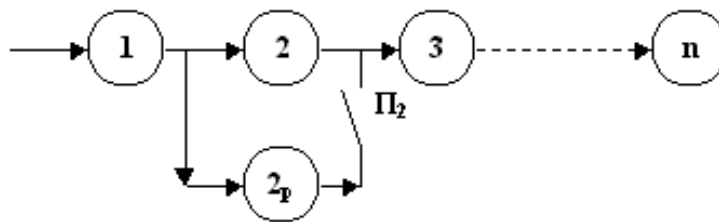


Рисунок 9 – Схема резервированной ТС

Если обобщить случай резервирования на другие элементы, то получим:

$$P = \prod_{i=1}^n \left[1 - (1 - p_i) \left(1 - p_{ip} p_{\Pi_i} \right) \right]. \quad (16)$$

Таким образом, используя приведенные выше зависимости (9)–(16), можно рассчитать вероятность безотказной работы ТС, если известны вероятности безотказной работы всех ее элементов. Указанные вероятности определяются путем экспериментальных исследований с последующей обработкой экспериментальных данных с помощью методов математической статистики. В результате такой обработки получают зависимости для расчета надежности ТС и их элементов. В зависимости от закона распределения, которое применяется при математической обработке экспериментов, получают формулы для расчета вероятности безотказной работы ТС или ее элемента.

Рассмотрим пример расчета вероятности безотказной работы некоторого элемента при выполнении задачи случайной продолжительности выполнения. Это наиболее типичный случай задачи по расчету надежности элемента.

Если время выполнения задачи является случайной величиной с распределением $W(t)$, то вероятность безотказной работы определится:

$$P = \int_0^{\infty} P(t) dW(t). \quad (17)$$

Вычислив (17), получим зависимость для расчета вероятности P . Примеры таких зависимостей для некоторых законов распределения приведенные в табл. 1.

Таблица 1 – Вероятность безотказной работы ТС при выполнении задачи случайной продолжительности

Распределение	Точное выражение	Приблизительное выражение
<p>Экспоненциальное:</p> $W(t) = \frac{1}{t_0} e^{-\frac{t}{t_0}}$	$\frac{1}{1 + \lambda t_0}$	$1 - \lambda t_0 + (\lambda t_0)^2$
<p>Нормальное:</p> $W(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(t_0 - t)^2}{2\sigma^2}}$	$e^{-\lambda t_0 + \frac{\sigma^2 \lambda^2}{2}}$	$1 - \lambda t_0 + \frac{\lambda^2 (t_0^2 + \sigma^2)}{2}$
<p>Произвольное:</p> $W(t)$	$1 - \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k \frac{\lambda^k m_k}{k!}$	$1 - \lambda t_0 + \frac{\lambda^2 (t_0^2 + \sigma^2)}{2}$

Таким образом, мы рассмотрели некоторые вопросы теории технических систем, системотехники и теории расчетов надежности, которая позволяет нам:

- изучить и применить на практике основные понятия ТТС и системотехники;
- строить структуру ТС и определять основные параметры систем с помощью анализа их структуры;
- методом вероятностных расчетов выполнять оценку надежности функционирования ТС.

2. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Контрольная работа по дисциплине «Теория технических систем», как уже сказано выше, состоит из двух частей – проработки теоретического материала и решения комплексной задачи анализа и оценки надежности функционирования технической системы, которая представлена своей структурой.

Нужно выполнить:

По первой части – проработать с помощью литературных источников рекомендованные теоретические вопросы и составить соответствующий короткий реферат.

По второй части:

- выбрать исходные данные соответственно заданному варианту и сформулировать задачу;
- вычертить заданный исходный граф структуры ТС;
- путем анализа *элементов, связей, связности, диаметра и сложности* графа определить и оценить параметры структуры ТС;
- изъять из исходного графа заданную элементарную структуру и рассчитать вероятность безотказной работы системы, моделью которой является указанная структура;
- определить вероятность безотказной работы технической системы при выполнении задачи случайной продолжительности, если задан закон распределения случайной величины;
- оформить контрольную работу соответственно требованиям.

Рассмотрим пример выполнения задания.

2.1. Выбор исходных данных

Соответственно заданному варианту выбираем исходные данные. Номер варианта данных назначается преподавателем или выбирается соответственно номера студента в списке группы. Для примера нами выбран вариант задачи № 30.

Исходные данные к первой части – теоретические вопросы для самостоятельной работы и рекомендованная литература к ним (приложение 1, таблица П1.1);

Исходные данные для расчета:

- граф заданной структуры ТС (приложение 2, таблица П2.1);
- цепь элементарной структуры, надежность функционирования которой нужно оценить – 7, 10, 6, 5 (приложение 2, таблица П2.1);
- номера звеньев, которые резервируются – 7, 5. В таблице приложения 1 резервированные звенья отмечены верхним индексом R , например, 5^R (приложение 2, таблица П2.1);

- вероятности БР основных звеньев: $p_7=0,993$; $p_{10}=0,99$; $p_6=0,987$; $p_5=0,98$; вероятности резервированных БР $p_{7p}=0,89$; $p_{5p}=0,86$ (приложение 2, табл. П2.1);
- параметры распределения случайной величины (времени выполнения задачи технической системой): $\lambda=0,1 \text{ ч}^{-1}$, $t_0=3 \text{ ч}$, $\sigma = 0,5 \text{ ч}$ (приложение 2, табл. П2.2).

Первая часть задачи выполняется самостоятельно. Материал в реферате отображается в свободной форме.

Рассмотрим пример выполнения второй части.

2.2. Выполнение анализа графа структуры ТС

Выполняем чертеж заданного графа (рис. 10):

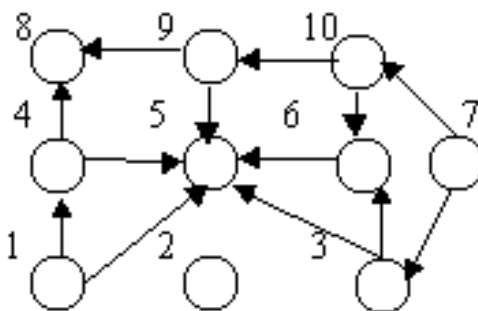


Рисунок 10 – Граф структуры технической системы

Анализ структуры выполняем в последовательности, приведенной в п.1.3.

2.2.1. Анализ элементов

Заданный граф содержит:

- изолированные вершины – 1 (вершина 2);
- висячие вершины – 2 (вершины 1, 7);
- тупиковые вершины – 2 (вершины 5, 8).
-

Вывод: установлено, что система имеет два входа (вершины 1, 7) и два выхода (вершины 5, 8). Структура системы построена некорректно, поскольку граф содержит изолированную вершину 2.

2.2.2. Анализ связей

Вывод:

- петель нет;
- контуров нет.

2.2.3. Анализ связности

Определяем меру излишка по связям по зависимости (4). Для этого для причиненного графа построим *матрицу смежности*.

$$V = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix};$$

По зависимости (5), используя матрицу смежности, определяем сумму связей в ее строках:

$$R = 2+0+2+2+0+1+2+0+2+2 = 13,$$

тогда, учитывая, что количество вершин $n=10$, мера излишка по связям определится:

$$\alpha = \frac{R}{n-1} - 1 = 13 / (10-1) - 1 = 0,4444.$$

Вывод: в структуре ТС, которая анализируется, существует излишек по связям.

Кроме основного вывода можно сделать и дополнительный, который является результатом аналитического анализа элементов: вершины 1, 7 является висячими (все элементы 1-го и 7-го столбцов равняются нулю); вершины 2, 8 являются тупиковыми (все элементы 1-го и 7-го строк равняются нулю); вершина 2 является изолированной (все элементы 2-го строки и 2-го столбца равняются нулю).

2.2.4. Диаметр структуры

Для определения диаметра структуры находим минимальные пути между висячими вершинами 1 и 7 и тупиковыми вершинами 5 и 8.

Из анализа графа очевидно, что $d_{\min 1-5} = 1$ ребро (путь 1-5), $d_{\min 1-8} = 2$ ребра (путь 1-4-8), $d_{\min 7-5} = 2$ ребра (путь 7-3-5), $d_{\min 7-8} = 3$ ребра (путь 7-10-9-8). Тогда диаметр структуры определим по зависимости (7):

$$d = \max(d_{\min ij}) = \max(1,2,2,3)=3.$$

Вывод: диаметр структуры равняется наибольшему из кратчайших путей между двумя входами и двумя выходами системы и составляет 3 ребра.

2.2.4. Анализ сложности

Показатель сложности структуры определяем по зависимости (8). Из анализа элементов имеем: количество висячих вершин $m_1 = 2$, количество тупиковых вершин $m_2 = 2$.

Подсчитываем общее количество путей, которые ведут из двух висячих вершин 1 и 7 в две тупиковые вершины 5 и 8:

- количество путей из висячей вершины 1 к тупиковой вершине 5: $\rho_{15}=2$ (пути 1–4–5, 1–5);
- количество путей из висячей вершины 1 к тупиковой вершине 8: $\rho_{18}=1$ (пути 1–4–8);
- количество путей из висячей вершины 7 к тупиковой вершине 5: $\rho_{75}=4$ (пути 7–10–9–5, 7–10–6–5, 7–3–6–5, 7–3–5);
- количество путей из висячей вершины 7 к тупиковой вершине 8: $\rho_{78}=1$ (пути 7–10–9–8);

Суммируя все перечисленные пути и подставляя их в формулу (8), получаем:

$$\rho = \frac{1}{m_1 m_2} \sum_{i=1}^{m_1} \sum_{j=1}^{m_2} \rho_{ij} - 1 = 1 / (2 \times 2) \times (2 + 1 + 4 + 1) - 1 = 1.$$

Вывод: структура сложная, поскольку структура с минимальной сложностью имеет показатель сложности $\rho = 0$.

2.3. Расчет вероятности безотказной работы ТС

2.3.1. Создание расчетной схемы

Вычерчиваем структурную схему, которая содержит заданные элементы (рис. 11):

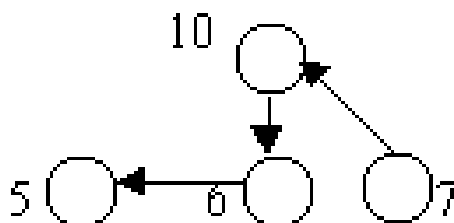


Рисунок 11– Элементарная структура к расчету параметров надежности

Превращаем приведенную на рис. 11. структуру к структуре системы в виде прямой цепи с резервированными элементами 7 и 5 (рис. 12).

2.3.2. Расчет вероятности БР ТС, представленной структурой, изображенной на рис. 12

Решение этой задачи выполняем в два этапа.

Этап 1. Определяем эквивалентные вероятности БР для элементов 7 и 5, используя зависимость (15):

$$p_{7e} = 1 - (1 - p_7)(1 - p_{7p}p_{П7}) = 1 - (1 - 0,993)(1 - 0,89 \times 0,99) = 0,9992;$$

$$p_{5e} = 1 - (1 - p_5)(1 - p_{5p}p_{П5}) = 1 - (1 - 0,98)(1 - 0,867 \times 0,99) = 0,9972.$$

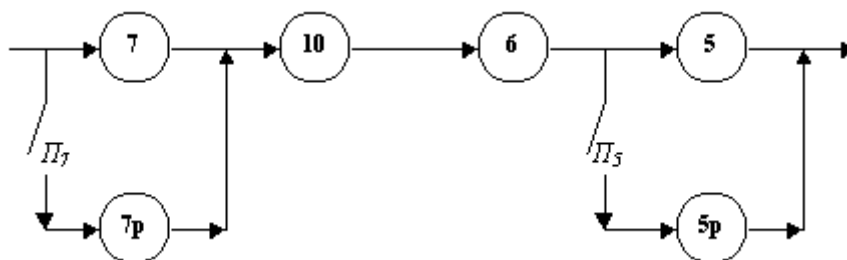


Рисунок 12 – Расчетная схема ТС к определению вероятности БР:

7, 10, 6, 5 – основные элементы системы; 7_р, 5_р – резервные элементы системы;
 П₇, П₅ – переключатели, которые автоматически включают в цепь резервные элементы при отказе основных

Замечание. Соответственно рекомендациям (см. приложение 2) нами приняты значения вероятности безотказной работы переключателей для парного варианта №30: $p_{П7} = p_{П5} = 0,99$.

Этап 2. Находим общую вероятность безотказной работы ТС по формуле (9):

$$P = p_{7e}p_{10}p_6p_{5e} = 0,9992 \times 0,99 \times 0,987 \times 0,9972 = 0,9736.$$

Заметим, что общую надежность ТС мы определяли в два этапа (с использованием формул (15) и (9)) в чисто методических целях, поскольку ее можно было сразу определить по зависимости (16), если конкретизировать ее для случая резервирования элементов 7 и 5 при общем количестве элементов $n=4$.

2.3.3. Расчет вероятности БР ТС при выполнении ею задачи случайной продолжительности

Задача. Техническая система – станок с ЧПУ для обработки заготовок сложной пространственной формы, функционирование которого характеризуется потоком сбоев с интенсивностью $\lambda = 0,1 \text{ ч}^{-1}$. Продолжительность обработки заготовок является случайной величиной, распределенной по нормальному закону со средним временем $t_0 = 3 \text{ ч}$ и средним квадратичным отклонением $\sigma = 0,5 \text{ ч}$. Найти вероятность того, что во время обработки произвольно выбранной заготовки не будет сбоя в работе станка.

Решение.

По формуле, приведенной в таблице 1 для *нормального закона* распределения, находим:

$$P = 1 - \lambda t_0 + \frac{\lambda^2(t_0^2 + \sigma^2)}{2};$$

$$P = 1 - 0,1 \times 3 + (9 + 0,25) / 2 \approx 0,75.$$

Вероятность отказа станка определим, преобразуя формулу (12):

$$Q = 1 - P = 1 - 0,75 = 0,25.$$

Вывод: вероятность БР станка можно увеличить, если уменьшать интенсивность сбоев λ и время обработки заготовок. Этого можно добиться, например, своевременным профилактическим ремонтом станка и оснастки и применением более эффективных режимов обработки.

2.4. Оформление контрольной работы

Выполненная контрольная работа оформляется в соответствии с требованиями к оформлению текстовой документации [5].

Состав объяснительной записки должен содержать разделы, которые приведены в примере выполнения работы, а, кроме того, должен быть дополнен следующим образом:

- титульным листом, которым начинается объяснительная записка (образец оформления титульного листа приведен в Приложении 3);
- «Отчет», который находится перед первым разделом записки;
- «Использованная литература» находится в конце объяснительной записки;
- личной подписью исполнителя контрольной работы, которым заканчивается записка.

Таким образом, для приведенного примера состав пояснительной записки может иметь вид:

Титульный лист.

Содержание.

1. Анализ диаметра и сложности структур ТС. Примеры.

2. Анализ структуры технических систем и расчет параметров их надежности.

2.1. Выбор исходных данных.

2.2. Анализ графа структуры ТС.

2.3. Расчет вероятности безотказной работы ТС.

Использованная литература

Текст записки должен быть выполнен на листах белой бумаги формата А4 (210×297) на компьютере или рукописно. В последнем случае текст должен быть написан разборчиво, синей, черной или фиолетовой пастой; рисунки выполнять аккуратно карандашом с использованием ли-

нейки и циркуля. Номера разделов, подразделов, таблиц, рисунков выполнять обязательно. Номера страниц проставлять вверху страниц, по их центру.

Рекомендации по объему пояснительной записки:

- раздел 1 (реферат по теоретическому вопросу) – 4–6 страниц рукописного текста или 2–3 компьютерного набора;
- раздел 2 (расчетный) – 7–10 рукописного текста или 4–5 компьютерного набора;
- общий объем записки – 10–15 рукописного текста или 6–9 страниц компьютерного набора.

После оформления записка должна быть сшита с помощью степлера или ниток.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Хубка. Теория технических систем. – Г.: Мир, 1987. – 208 с.
2. Кузнецов Ю. М., Луцив И. В., Дубняк С. А. Теория технических систем. Под общей ред. проф. Ю. М. Кузнецова. – К., – Тернополь, 1997. – С. 6–9.
3. Николаев В. И., Мостовая В. М. Системотехника: методы и приложения. – Л.: Машиностроение, 1985. 199 с.
4. Шарлкшане А. С. и др. Сложные системы. Учебное пособие для вузов. – Г.: Высшая школа, 1977. 27 с.
5. Половинкин А. И. Основы инженерного творчества. Учебное пособие для студентов вузов. – Г.: Машиностроение, 1988. 368 с.
6. Сигорский В. П. Математический аппарат инженера. – К.: Техника, 1975. 562 с.
7. Вентцель Э. С. Исследование операций. – Г.: Советское радио, 1972. 522 с.
8. Вентцель Э. С., Овчаров А. А. Теория вероятностей. – Г., Наука, 1973. 368 с.
9. Надежность технических систем: Справочник / Ю. К. Беляев, В. А. Богатырев, В. В. Болотин и др. Под ред. И. А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. 608 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Данные к самостоятельной проработке теоретического материала

Таблица П1.1 – Варианты задач и рекомендованная литература

№№ вариантов	Содержание вопросов	Рекомендованная литература
1	Виды и назначение теории технических систем. Основные понятия и определение теории технических систем	[1], с. 14-15 [2], с. 6-9
2	Сущность принципов системного подхода. Виды теории. Взаимосвязь теории с другими дисциплинами. Применение теории технических систем	[1], с. 14-15 [2], с. 6-9
3	Построение общей модели функционирования ТС	[1], с. 60-87 [3], с. 31-59
4	Роль ТС в системе преобразований и ее сущность	[1], с. 32-60 [2], с. 25-28
5	Функциональная структура и конструктивная схема ТС	[1], с. 60-87 [2], с. 39-50
6	Модель и структура технического процесса	[1], с. 179-194 [2], с. 29-36
7	Операторы и характеристики технического процесса	[1], с. 39-59 [2], с. 84-95
8	Обзор системных моделей функционирования. Пример построения модели	[3], с. 31-59
9	Управление процессом технического развития	[1], с. 179-194 [2], с. 84-95
10	Тенденции технического развития	[1], с. 179-194 [2], с. 84-95
11	Значение научно-исследовательских работ для эволюции и развития технических систем	[1], с. 179-194 [2], с. 84-95
12	Факторы эволюционного процесса	[1], с. 179-194 [2], с. 84-95
13	Эволюция спроса на техническую систему	[1], с. 179-194 [2], с. 84-95
14	Тенденции и направления эволюции ТС	[1], с. 179-194 [2], с. 84-95
15	Понятие технического уровня технических систем и исторические примеры эволюции технических систем	[1], с. 179-194 [2], с. 84-95

Продолжение табл. П1.1

№№ вариантов	Содержание вопросов	Рекомендованная литература
16	Понятие системы. Краткие сведения из истории развития ТС. Общая характеристика систем. Классификация ТС	[1], с. 11–15 [2], с. 7–9 [3], с. 5–8
17	Синтез структур ТС	[3], с. 71–78
18	Общая модель системы преобразований	[1], с. 32–38 [2], с. 25–28
19	Характеристика отказов и методы расчета надежности	[9], с. 6–71
20	Понятие резерва и резервирование элементов. Расчет надежности резерва. Переключатели резерва и их надежность	[9], с. 6–71
21	Методика расчета надежности систем со смешанным соединением элементов	[9], с. 6–71
22	Математический аппарат для расчета параметров надежности. Методика расчет вероятности отсутствия отказа при решении задачи случайной продолжительности	[9], с. 6–71
23	Основные термины и понятия надежности. Показатели надежности	[9], с. 6–71
24	Функциональная структура ТС. Органоструктура ТС	[1], с. 60–87 [2], с. 39–50
25	Топологический анализ структур	[3], с. 65–71
26	Понятие структуры, структурные схемы и методы описания структуры систем	[3], с. 60–65
27	Понятие графов, их вершин и ребер. Моделирование структур ТС с помощью графов. Примеры графов структур ТС	[3], с. 62–71
28	Моделирование структур ТС с помощью матриц смежности и инцидентности. Примеры построения матриц смежности и инцидентности для конкретных графов	[3], с. 63–71
29	Анализ элементов, связей и связностей. Примеры	[3], с. 65–68
30	Анализ диаметра и сложности структур ТС. Примеры	[3], с. 67–71

Дополнительные указания.

Рекомендованная литература не является обязательной для использования при написании контрольной работы, поэтому не только не запрещается использовать другую, желательно более новую литературу, а и поощряется. Естественно, при использовании такой литературы необходимо

занести ее в список использованной литературы и сделать на нее соответствующие ссылки.

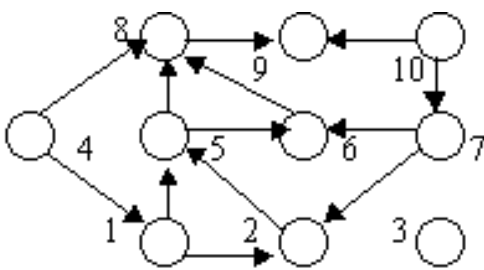
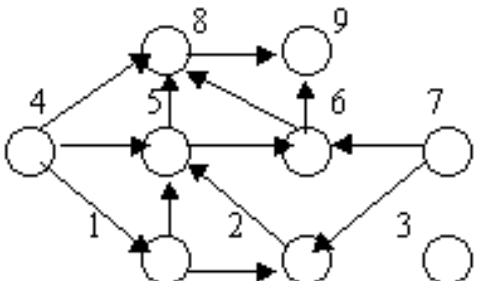
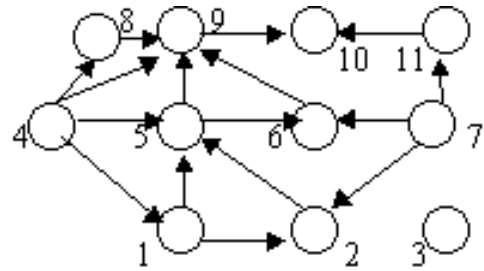
Приложение 2. Данные для выполнения практической части контрольной работы

П2.1. Задача и данные к анализу структуры и расчету параметров надежности ТС

Задача. Для заданной с помощью графу структуры ТС выполнить:

- анализ элементов, связей, связанности, диаметра и сложности графа определить и оценить параметры структуры ТС;
- изъять из исходного графа заданную элементарную структуру и рассчитать вероятность безотказной работы системы, моделью которой является указанная структура.

Таблица П2.1 – Варианты задач к контрольной работе

№№ вариантов	Исходный граф структуры ТС	Данные к расчету надежности							
		Элементы	Вероятности БР элементов						
			Основных				Резервных		
1		4, 1 ^R , 5, 8, 9 ^R	0.88	0.92	0.98	0.96	0.94	0.89	0.89
2		4, 1 ^R , 5, 6 ^R , 9	0.84	0.86	0.99	1	0.89	0.97	0.99
3		7, 2 ^R , 5 ^R , 9,10	0.89	0.99	0.96	0.95	0.97	0.94	0.93

Продолжение табл. П2.1

№№ вариантов	Исходный граф структуры ТС	Данные к расчету надежности							
		Элементы	Вероятности БР элементов				Резерв зerv-ных		
			Основных						
4		3, 4 ^R , 7 ^R , 8	0.98	0.96	0.96	0.98	1	0.97	0.96
5		3, 4 ^R , 5, 7 ^R , 8	0.89	0.87	0.97	0.96	0.98	0.95	0.89
6		3 ^R , 1, 2, 4 ^R , 5	0.989	0.96	1	0.985	0.888	0.999	0.987
7		7, 2 ^R , 5, 6, 8 ^R	0.98	0.98	0.985	0.88	0.85	0.89	1
8		4 ^R , 5, 1, 2, 3 ^R	0.89	0.88	0.877	0.99	0.99	1	0.99

Продолжение табл. П2.1

№№ вариантов	Исходный граф структуры ТС	Данные к расчету надежности							
		Элементы	Вероятности БР элементов						
			Основных				Резервных		
9		3, 2 ^R , 5 ^R , 1	0.96	0.99	0.996	0.95	-	1	0.95
10		2, 5, 6 ^R , 8, 9 ^R	0.985	0.99	0.898	0.99	0.95	0.99	0.99
11		6 ^R , 2, 1, 5, 7 ^R	0.78	1	0.89	0.99	0.9	0.94	1
12		3, 4, 5, 1 ^R , 2 ^R	0.98	0.9	0.989	0.987	1	0.89	0.95
13		6 ^R , 2 ^R , 4, 7, 3	0.934	0.896	1	0.98	0.97	0.99	0.986

Продолжение табл. П2.1

№№ вариантов	Исходный граф структуры ТС	Данные к расчету надежности							
		Элементы	Вероятности БР элементов					Резерв зerv-ных	
			Основных						
14		6,2, 1 ^R , 4,7 ^R	0.96	0.98	0.88	0.876	0.9	0.9	1
15		7 ^R , 9, 6, 5, 4 ^R	0.98	0.9	0.9	0.922	0.93	1	0.88
16		5, 9 ^R , 8, 4, 7 ^R	0.86	0.89	1	1	0.9	0.98	0.98
17		7 ^R , 3, 6, 5, 8 ^R	0.98	0.99	0.99	0.89	1	1	0.92
18		6, 2 ^R , 1 ^R , 3, 7	0.98	0.99	0.93	0.985	0.999	0.878	1

Таблица П2.1 – Варианты задач к контрольной работе

№№ вариантов	Исходный граф структуры ТС	Данные к расчету надежности							
		Элементы	Вероятности БР элементов				Резерв зerv-ных		
			Основных						
19		2, 6, 1 ^R , 4, 7 ^R	0.99	0.98	0.78	1	0.98	0.99	0.99
20		3, 2 ^R , 1, 5, 8 ^R	0.98	0.9	0.89	0.99	0.96	0.79	1
21		9, 6 ^R , 2, 4, 7 ^R	0.99	0.94	0.97	0.89	0.985	0.99	0.91
22		6, 2 ^R , 4 ^R , 3, 7	0.89	0.87	0.8	1	0.98	0.9	1
23		3, 6, 5 ^R , 8 ^R , 7	0.9	0.97	0.99	0.95	0.96	1	0.989

Таблица П2.1 – Варианты задач к контрольной работе

№№ вариантов	Исходный граф структуры ТС	Данные к расчету надежности							
		Элементы	Вероятности БР элементов					Резерв зerv-ных	
			Основных						
24		10 ^R , 9, 6, 5, 8 ^R	0.89	0.99	0.9	0.912	0.845	1	0.9
25		1, 2 ^R , 4, 6 ^R	0.879	0.899	0.99	0.91	-	0.999	0.998
26		3, 2 ^R , 1, 4, 7 ^R	0.9	0.985	0.983	0.99	1	0.98	0.99
27		7 ^R , 10 ^R , 9, 5, 8	0.885	0.96	0.96	0.97	1	0.867	0.9
28		6, 5 ^R , 8, 7, 3 ^R	0.94	0.942	0.99	0.91	1	0.99	0.87

Таблица П2.1 – Варианты задач к контрольной работе

№№ вариантов	Исходный граф структуры ТС	Данные к расчету надежности							
		Элементы	Вероятности БР элементов					Резерв зerv-ных	
			Основных						
29		7, 2 ^R , 1 ^R , 5,8	0.94	0.99	0.99	0.984	0.976	1	0.9
30		7 ^R , 10, 6, 5 ^R	0.993	0.99	0.987	0.98	-	0.89	0.867

Дополнительные указания.

При расчете вероятности БР причиненной ТС выполнить следующее:

- последовательно с резервными элементами включать переключатели, которые включают в главную цепь резервные элементы при отказе основных;
- вероятности БР переключателей принимать: $p_{\Pi i} = 0,99$ – для четных вариантов данных, $p_{\Pi i} = 0,97$ – для нечетных вариантов данных.

П2.2. Задача и исходные данные к расчету вероятности БР при выполнении задачи случайной продолжительности

Задача. Техническая система – станок с ЧПУ по обработке заготовок сложной пространственной формы, функционирование которого характеризуется потоком сбоев с интенсивностью λ , ч⁻¹. Продолжительность обработки заготовок является случайной величиной, распределенной по заданному закону (табл. П2.2) со средним временем t_0 , ч и средним квадратичным отклонением σ , ч. Найти вероятность того, что во время обработки произвольно выбранной заготовки не будет сбоя в работе станка.

Таблица П2.2 – Значение параметров распределения случайной величины

№№ вариантов	$\lambda, \text{ч}^{-1}$	$t_0, \text{ч}$	$\sigma, \text{ч}$	Закон распределения
1	0,09	2,8	0,22	нормальный
2	0,125	3,4	0,4	произвольный
3	0,03	4,0	0,2	экспонентный
4	0,1	2,0	0,5	нормальный
5	0,12	4,1	0,23	произвольный
6	0,15	2,6	0,3	экспонентный
7	0,18	3,0	0,4	нормальный
8	0,1	3,2	0,25	произвольный
9	0,2	2,2	0,3	экспонентный
10	0,1	3,3	0,45	нормальный
11	0,18	3,3	0,3	произвольный
12	0,12	3,5	0,38	экспонентный
14	0,08	2,7	0,2	нормальный
15	0,15	3,0	0,24	произвольный
16	0,08	3,4	0,28	экспонентный
17	0,11	2,8	0,45	нормальный
18	0,132	3,1	0,33	произвольный
19	0,115	2,5	0,31	экспонентный
20	0,118	3,2	0,24	нормальный
21	0,12	3,2	0,25	произвольный
22	0,2	2,8	0,36	экспонентный
23	0,21	3,0	0,48	нормальный
24	0,13	3,3	0,37	произвольный
24	0,14	3,4	0,38	экспонентный
25	0,09	3,1	0,24	нормальный
26	0,15	2,6	0,22	произвольный
27	0,13	3,1	0,46	экспонентный
28	0,109	3,0	0,48	нормальный
29	0,1	3,3	0,30	произвольный
30	0,1	3,0	0,5	нормальный

Приложение 3. Образец титульного листа

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»**

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

**на тему: «Анализ структуры технических систем и расчет
параметров их надежности»**

по дисциплине «ТЕОРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ»

**Выполнил: студент Иванов И. В.
Принял: проф. Федорович В. А.**

ХАРЬКОВ 2004

Навчальне видання

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ТА ЗАВДАННЯ
ДО КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ**

з курсу «Теорія технічних систем»

для студентів спеціальності 7.090202 «Технологія машинобудування»
денної та заочної форм навчання

Російською мовою

Укладачі: **ФЕДОРОВИЧ** Володимир Олексійович
ЛИТОВЧЕНКО Петро Іванович

Відповідний за випуск А. І. Грабченко

Роботу рекомендував до видання О. М. Шелковой

В авторській редакції

Комп'ютерне оформлення В. О. Склепус

План 2004, поз. 53

Підписано до друку Формат $60 \times 84 \frac{1}{16}$. Папір офсетний.
Друк – ризографія. Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 2,1.
Обл.-вид. арк. 2,7. Наклад 50 прим. Зам. № . Ціна договірна

Видавничий центр НТУ «ХП»

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК №116 від 10.07.2000 р.

61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Друкарня НТУ «ХП»

ДЛЯ ЗАМЕТОК