

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
"Воронежский государственный технический университет"

Кафедра автоматизированного оборудования
машиностроительного производства

**НАДЕЖНОСТЬ И ДИАГНОСТИКА
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению контрольных работ по дисциплине
для студентов направления подготовки бакалавров
15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»
(профиль «Металлообрабатывающие станки и комплексы»)
заочной формы обучения

Воронеж 2022

УДК 621.01 (07)
ББК 34.5я7

Составитель

д-р техн. наук, профессор С. Ю. Жачкин

Надежность и диагностика технологических систем: методические указания к выполнению контрольных работ для студентов направления подготовки бакалавров 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» (профиль «Металлообрабатывающие станки и комплексы») заочной формы обучения / ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет; сост. С. Ю. Жачкин. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2022. – 18 с.

В методических указаниях изложены требования и общие вопросы по выполнению контрольной работы, рассматриваются вопросы обеспечения надежности и диагностики исправности средств технологического оснащения при обработке технических объектов, приводятся обучающие алгоритмы расчётов.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ_КР_НиДТС.pdf.

Ил. 2. Библиогр.: 9 назв.

УДК 621.01(07)
ББК 34.5 я7

Рецензент – С. Н. Яценко, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры автоматизированного оборудования машиностроительного производства ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Развитие техники по важнейшим направлениям — автоматизации производства, интенсификации рабочих процессов и транспорта, концентрации мощностей и др. — ограничивается требованиями надежности. Современные технические средства состоят из множества взаимодействующих механизмов, аппаратов и приборов. Например, в современных автоматизированных прокатных комплексах насчитывается более миллиона деталей, современные системы радиуправления ракетами имеют десятки миллионов элементов, тогда как первые простейшие машины и радиоприемники состояли только из десятков или сотен деталей.

Отказ в работе хотя бы одного ответственного элемента сложной системы без резервирования может привести к нарушению работы всей системы, к браку изделий, простоям оборудования, прекращению снабжения населения электроэнергией, газом, водой, иногда к аварии, связанной с опасностью для человеческой жизни.

Хотя в литературе по надежности подчеркивалась полная надежность современной системы электроснабжения, в 1965, 1985, 2003 г. в США произошли исключительные по масштабам аварии, оставившие огромную часть территории страны с населением 40, 50, 60 млн. человек без света, электрической энергии и электротранспорта на 40 ч.

Причиной аварии был выход из строя одного реле на распределительном щите одной из гидроэлектростанций, и аварий на атомных станциях.

Повышение надежности машин является одной из важнейших народнохозяйственных задач. На восстановление работоспособности — ремонт действующего парка машин — по ряду групп машин ежегодно расходуются средства, большие стоимости выпуска новой продукции соответствующих отраслей машиностроения. При недостаточной долговечности машины изготавливают в большем, чем нужно, количестве, что ведет к перерасходу металла, излишкам производственных мощностей, завышению расходов на ремонт и эксплуатацию.

В теории надежности рассматриваются следующие обобщенные объекты:

изделие — это единица продукции, выпускаемая данным предприятием, цехом и т. д., например, подшипник, ремень, станок, автомобиль и др.;

элемент — простейшая при данном рассмотрении составная часть объекта;

система — совокупность совместно действующих элементов, предназначенная для самостоятельного выполнения заданных функций.

Понятия элемента и системы трансформируются в зависимости от поставленной задачи. Машина при установлении ее собственной надежности рассматривается как система, состоящая из отдельных элементов — механизмов, узлов и т. д., а при изучении надежности автоматической линии — как элемент.

Изделия делят на:

невосстанавливаемые, которые не могут быть восстановлены потребителем и подлежат замене, например электрические и электронные лампы, подшипники качения и т. д.;

восстанавливаемые, которые могут быть восстановлены потребителем, например станок, автомобиль, радиоприемник.

Ряд изделий, относимых к невосстанавливаемым, например подшипники качения, иногда восстанавливаются, но на специализированных предприятиях.

Сложные изделия, состоящие из многих элементов, как правило, восстанавливаются, так как отказы обычно бывают связаны с повреждением одного или немногих элементов, в то время как другие остаются работоспособными. Простые элементы, особенно покупаемые со стороны, и изготавливаемые методами массового производства, не восстанавливаются.

Надежность характеризуется следующими основными состояниями и событиями:

- *работоспособность* — состояние изделия, при котором оно способно нормально выполнять заданные функции (с параметрами, установленными в технической документации). Работоспособность не касается требований, непосредственно не влияющих на эксплуатационные показатели, например повреждение окраски и т. д.;

- *исправность* — состояние изделия, при котором оно удовлетворяет всем не только основным, но и вспомогательным требованиям. Исправное изделие обязательно работоспособно;

- *неисправность* — состояние изделия, при котором оно не соответствует хотя бы одному из требований технической документации. Различают неисправности, не приводящие к отказам, и неисправности и их сочетания, приводящие к отказам;

- *отказ* — событие, заключающееся в нарушении работоспособности.

Отказы в соответствии со своей физической природой связаны с разрушением деталей или их поверхностей (поломки, выкрашивание, износ, коррозия, старение) или не связаны с разрушением (засорение каналов подачи топлива, смазки или подачи рабочей жидкости в гидроприводах, ослабление соединений, загрязнение или ослабление электроконтактов). В соответствии с этим отказы устраняются а) заменой деталей, б) регулированием или очисткой.

По возможности дальнейшего использования изделий отказы разделяют на полные, исключающие возможность работы изделия до их устранения, и частичные, при которых изделие может частично использоваться, например, с неполной мощностью или на пониженной скорости.

По характеру возникновения отказы делят на внезапные (например, поломки) и постепенные (изнашивание, старение, коррозия, залипания, загрязнение).

По своим последствиям отказы могут быть опасными для жизни, тяжелыми и легкими. *По возможности устранения* — устранимыми или неустранимыми, если устранение невыгодно (по сравнению с заменой) или в настоящее время невозможно. Встречаются также самоустраняющиеся отказы, например, в системах автоматической подачи заготовок на станках.

По времени возникновения отказы делят на:

- *прирабочные отказы*, возникающие в первый период эксплуатации и связанные с отсутствием приработки и с попаданием на сборку дефектных элементов, не отбракованных контролем;

- *отказы при нормальной эксплуатации* (за период до проявления износных отказов)

- *износные отказы.*

Проводя некоторую аналогию между изделиями и человеком с позиций надежности, приработочные отказы сопоставляют с детскими болезнями, отказы при нормальной эксплуатации — со случайными болезнями окрепшего организма взрослого человека и износные — со старческими болезнями.

Рассмотрим свойства изделий в аспекте проблемы надежности.

Надежность (общая) — это свойство изделия выполнять заданные функции, сохраняя в заданных пределах свои эксплуатационные показатели в течение требуемого промежутка времени или требуемой наработки. Надежность изделий обуславливается их безотказностью, ремонтпригодностью, сохраняемостью и долговечностью их частей. Таким образом, надежность характеризуется показателями, которые проявляются в эксплуатации и позволяют судить о том, насколько изделие оправдает надежды его изготовителей и потребителей.

Безотказность (или надежность в узком смысле слова) — свойство сохранять работоспособность в течение заданной наработки без вынужденных перерывов. Это свойство особенно важно для машин, отказ в работе которых связан с опасностью для жизни людей или с перерывом в работе большого комплекса машин, с остановкой автоматизированного производства или с браком дорогого изделия.

Долговечность — свойство изделия длительно сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонтов. Предельное состояние изделия характеризуется невозможностью его дальнейшей эксплуатации, снижением эффективности или безопасности. Для невозстанавливаемых изделий понятия долговечности и безотказности практически совпадают.

Ремонтпригодность — приспособленность изделия к предупреждению, обнаружению и устранению отказов и неисправностей путем технического обслуживания и ремонтов. С усложнением систем все труднее становится находить причины отказов и отказавшие элементы. Так, в сложных электрогидравлических системах станков поиск причин отказа может занимать более 50% общего времени восстановления работоспособности. Поэтому облегчение поиска отказавших элементов закладывается в конструкцию новых сложных автоматических систем. Важность ремонтпригодности машин определяется огромными затратами на ремонт машин в народном хозяйстве.

Сохраняемость — свойство изделия сохранять требуемые эксплуатационные показатели после установленного срока хранения и транспортирования. Практическая роль этого свойства особенно велика для приборов. Так, по американским источникам во время второй мировой войны около 50 % радиоэлектронного оборудования для военных нужд и запасных частей к нему вышли из строя в процессе хранения. Надежность характеризуется рядом численных показателей.

Важным показателем безотказности является вероятность безотказной работы, относимая к заданному интервалу времени или к заданной наработке.

Для невозстановливаемых изделий, кроме того, учитывают интенсивность отказов, т. е. вероятность отказа невозстановливаемого изделия за единицу времени при условии, что отказ до этого не наступил.

Для ремонтируемых изделий пользуются также показателями:

наработка на отказ — среднее значение наработки ремонтируемого изделия между отказами (этот показатель особенно важен для постепенных отказов); *частота отказов* (или параметр потока отказов) — среднее количество отказов ремонтируемого изделия в единицу времени для рассматриваемого момента времени (соответствует интенсивности отказов для неремонтируемых изделий, но включает повторные отказы).

Основными показателями долговечности деталей, узлов и агрегатов машин являются:

- *средний ресурс*, т. е. средняя наработка до предельного состояния;
- *гамма-процентный ресурс*, т. е. ресурс, который имеет или превышает в среднем обусловленное число (γ) процентов изделий данного типа.

Таким образом, ресурс характеризует долговечность изделий при выбранном уровне вероятности неразрушения. Гамма-процентный ресурс является, в частности, основным расчетным показателем подшипников качения, подлежащим распространению на другие детали. К существенным достоинствам относятся возможность его определения до завершения испытания всех образцов, хорошая количественная характеристика случаев ранних разрушений и др. Для изделий серийного и массового производства, в частности для подшипников качения, наиболее часто используют 90 %-ный γ ресурс. Для подшипников весьма ответственных изделий γ ресурс выбирают 95 % и выше. Если отказ опасен для жизни людей, γ ресурс приближают к 100 %. Для основных агрегатов тракторов принят 80 %-ный γ ресурс.

Для машин основным показателем долговечности является срок службы, т. е. календарная продолжительность эксплуатации до предельного состояния или до списания. Различают: срок службы до первого капитального или среднего ремонта, до морального износа и до списания.

Для автоматических линий и других сложных систем основным комплексным показателем надежности является коэффициент технического использования — отношение наработки изделия в единицах времени за некоторый период к сумме этой наработки и времени всех простоев для ремонтов и технического обслуживания.

Внезапные отказы в период нормальной эксплуатации определяются случайными неблагоприятными сочетаниями большого количества факторов. Случайность связана с тем, что причины события остаются для нас скрытыми. Рассеивание ресурсов по критерию усталости для подшипников достигает 40, для зубчатых передач 10—15. Рассеивание ресурсов по износу также весьма значительно. Поэтому надежность необходимо рассматривать в вероятностном аспекте.

Общие зависимости

Рассмотрим результаты испытаний значительного числа N_0 элементов в течение времени t . Пусть к концу испытания останется $N_{и}$ исправных (не отказавших) элементов и $N_{от}$ отказавших. Тогда относительное количество отказов

$$Q(t) = N_{от}/N_0. \quad (1)$$

Если испытание проводится как выборочное для прогнозирования надежности, то $Q(t)$ можно рассматривать как оценку вероятности отказа или, если N_0 достаточно велико, — как вероятность отказа.

Вероятность безотказной работы

$$P(t) = N_{и}/N_0 = 1 - N_{от}/N_0 = 1 - Q(t). \quad (2)$$

Так как безотказная работа и отказ — взаимно противоположные события, то сумма их вероятностей равна 1:

$$P(t) + Q(t) = 1 \quad (3)$$

Это же следует из приведенных выше зависимостей.

При $t = 0$ $N_{от} = 0$, $Q = 0$ и $P = 1$.

При $t = \infty$ $N_{от} = N_0$, $Q = 1$ и $P = 0$.

Плотность вероятности отказов, или вероятность отказа в единицу времени, есть производная от функции вероятности по времени (или наработке в других единицах):

$$f(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = \frac{1}{N_0} \frac{dN_{от}}{dt} = -\frac{dP(t)}{dt}. \quad (4)$$

Вероятность отказов и безотказной работы в функции плотности вероятности выражается зависимостями:

$$Q(t) = \int_0^t f(t)dt \quad Q_{t=\infty} = \int_0^{\infty} f(t)dt = 1 \quad (5)$$

$$P(t) = 1 - Q(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt = \int_t^{\infty} f(t)dt$$

Интеграл от плотности вероятности в теории вероятности в общем случае называется функцией распределения.

Интенсивность отказов, т. е. вероятность отказа в единицу времени при условии, что отказ до этого времени не наступил,

$$\lambda(t) = \frac{1}{N_{и}} \frac{dN_{от}}{dt}. \quad (6)$$

Как видно из формулы, $\lambda(t)$ равно приращению количества отказов за время dt , отнесенное к этому времени и к числу исправных элементов. Плотность вероятности отказов относится к первоначальному числу элементов, а ин-

тенсивность отказов — к числу исправных. При износных отказах, наиболее характерных для машин, кривая плотности вероятности отказов имеет максимум, а кривая интенсивности отказов — непрерывный подъем.

Выражение вероятности безотказной работы через интенсивность отказов получим, умножив правую часть выражения для $\frac{dP(t)}{dt}$ на $\frac{N_H}{N_H}$, и проведя преобразования:

$$\frac{dP(t)}{dt} = -\frac{N_H}{N_H} \frac{1}{N_H} \frac{dN_{ор}}{dt} = -P(t)\lambda(t). \quad (7)$$

Отсюда после преобразования и интегрирования

$$\frac{dP(t)}{P(t)} = -\lambda(t)dt \quad \ln P(t) = -\int_0^t \lambda(t)dt \quad (8)$$

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt} \quad (9)$$

Испытание надежности систем очень сложно и дорого ввиду их многообразия. Поэтому надежность систем обычно вычисляют по надежности отдельных элементов. Машины без специального резервирования рассматривают как системы из последовательно соединенных элементов, причем отказ одного элемента приводит к отказу системы. Отказы считают независимыми.

Вероятность безотказной работы системы по теореме умножения вероятностей равна произведению вероятности безотказной работы элементов:

$$P_{ст}(t) = P_1(t)P_2(t)P_3(t)...P_n(t). \quad (10)$$

Поэтому надежность сложных систем получается низкой. Например, если система состоит из 10 элементов с вероятностью безотказной работы 0,9 (как в подшипниках качения), то общая вероятность получается всего $0,9^{10} = 0,35$.

Обычно вероятность безотказной работы элементов достаточно высока, поэтому, выразив предыдущие формулы через вероятности отказов и пользуясь теорией приближенных вычислений, получаем

$$P_{ст}(t) = [1 - Q_1(t)] [1 - Q_2(t)]... [1 - Q_n(t)] \approx 1 - [Q_1(t) + Q_2(t) + ... + Q_n(t)], \quad (11)$$

так как произведениями двух малых величин можно пренебречь.

$$\text{При } Q_1(t) = Q_2(t) = ... = Q_n(t) \quad P_{ст}(t) = 1 - n Q_1(t). \quad (12)$$

Пусть в системе из шести одинаковых последовательных элементов $P_1(t) = 0,99$, тогда $Q_1(t) = 0,01$ и $P_{ст}(t) = 0,94$.

Вероятность безотказной работы нужно уметь определять для любого промежутка времени. По теореме умножения вероятностей

$$P(T+t) = P(T)P(t) \quad \text{или} \quad P(t) = \frac{P(T+t)}{P(T)}, \quad (13)$$

где $P(T)$ и $P(T+t)$ - вероятность безотказной работы за время T и $T+t$ соответственно;

$P(t)$ - условная вероятность безотказной работы за время t ; термин «условная» здесь введен, поскольку вероятность определяется в предположении, что изделия не имели отказа до начала интервала времени или наработки.

2. ВИДЫ НАДЕЖНОСТИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОТКАЗОВ ТС

Надежность в период нормальной эксплуатации машин

В этот период износные отказы еще не проявляются, и надежность характеризуется внезапными отказами. Эти отказы вызываются неблагоприятным стечением многих обстоятельств и потому имеют постоянную интенсивность, которая не зависит от возраста изделия:

$$\lambda(t) = \lambda = 1/t_{cp} = const \quad (14)$$

где t_{cp} — средняя наработка на отказ (обычно в часах). Тогда λ измеряется в отказ/ч и, как правило, составляет малую дробь.

Вероятность безотказной работы

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda dt} = e^{-\lambda t} \quad (15)$$

Таким образом, она подчиняется экспоненциальному закону распределения и одинакова за любой одинаковый промежуток времени в период нормальной эксплуатации. Существенным достоинством экспоненциального распределения является его простота: оно имеет только один параметр.

Если, как обычно, $\lambda t < 0,1$, то формула вероятности безотказной работы упрощается в результате разложения в ряд и отбрасывания малых членов:

$$P(t) \approx 1 - \lambda t \quad (16)$$

Плотность вероятности отказов (в общем случае)

$$f(t) = -\frac{dP(t)}{dt} = \lambda e^{-\lambda t} \quad (17)$$

Зависимости вероятности безотказной работы $P(t)$, интенсивности $\lambda(t)$ и плотности вероятности $f(t)$ внезапных отказов от времени t показаны на рис. 1.

Значения вероятности безотказной работы в зависимости от $\lambda t = t/t_{cp}$

$\lambda t = 1$	0,1	0,01	0,001	0,0001
$P(t) = 0,368$	0,9	0,09	0,009	0,0009

Так как при $t/t_{cp} = 1$, $P \approx 0,37$, то 63 % отказов возникает за время $t < t_{cp}$ и только 37 % позднее. Из приведенных значений следует, что для обеспечения требуемой вероятности безотказной работы 0,9 или 0,99 можно использовать только малую долю среднего срока службы (соответственно 0,1 и 0,01).

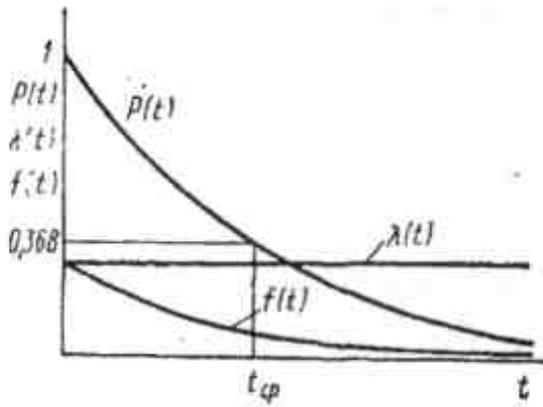


Рис. 1

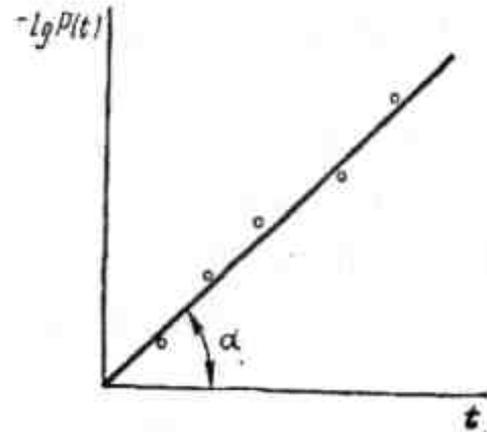


Рис. 2

Если работа изделия происходит при разных режимах, а, следовательно, и интенсивностях отказов λ (за время от 0 до t_1) и λ_2 (за время от t_1 и t_2), то

$$P(t) = e^{-\lambda t_1 - \lambda_2(t_2 - t_1)} \quad (18)$$

Эта зависимость следует из теоремы умножения вероятностей.

Для определения на основании опытов параметра распределения — интенсивности отказов X вычисляют среднюю наработку на отказ

$$t_{cp} = \frac{1}{N_0} \sum t_i \quad (19)$$

где N_0 — общее число наблюдений. Тогда $\lambda = 1/t_{cp}$.

Можно также воспользоваться графическим способом (рис. 2):

нанести экспериментальные точки в координатах t и $-\lg P(t)$; знак минус выбирают потому, что $P(t) < 1$ и, следовательно, $\lg P(t)$ — отрицательная величина.

Тогда, логарифмируя выражение для вероятности безотказной работы

$$\lg P(t) = -\lambda t \lg e = -0,4343 \lambda t \quad (20)$$

закключаем, что тангенс угла прямой, проведенной через экспериментальные точки, равен $\text{tga} = 0,4343 \lambda$, откуда $\lambda = 2,3 \text{ tga}$.

При этом способе нет необходимости доводить до конца испытания всех образцов.

Надежность системы

$$P_{CT}(t) = e^{\sum \lambda_i t} \quad (21)$$

если $\lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_n$, то $P_{CT}(t) = e^{-n\lambda_1 t}$.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Исходя из варианта работы, составить таблицу соответствия числа отказавших элементов системы из общего числа элементов за зафиксированный промежуток времени.
2. Определить вероятность отказа элементов в зависимости от времени наработки.
3. Определить вероятность безотказной работы элементов в зависимости от времени наработки.
4. Привести графическую интерпретацию зависимости вероятности отказов и безотказной работы элементов в зависимости от времени наработки.
5. Определить плотность отказов элементов системы.
6. Привести графическую интерпретацию плотности отказов элементов в зависимости от времени наработки.
7. Определить интенсивность отказов элементов системы.
8. Привести графическую интерпретацию интенсивности отказов элементов в зависимости от времени наработки.
9. Определить среднюю продолжительность наработки на отказ (с округлением до сотых).

4. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

Предлагаемые задания разделены на 5 групп. Каждая группа состоит из десяти вариантов. Номер группы заданий определяется по предпоследней цифре зачетной книжки (для цифр 6-0 брать группы заданий 1-5 соответственно), а номер варианта - по последней цифре зачетной книжки. Задания могут выдаваться преподавателем, как по номерам зачетной книжки, так и индивидуально.

Во всех заданиях общее количество работающих элементов составляет 75 штук. В таблице заданий приняты следующие обозначения:

m_i – количество отказавших элементов; t_i – время регистрации отказа.

Группа заданий № 1

Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3		Вариант 4	
m_i	t_i	m_i	t_i	m_i	t_i	m_i	t_i
0	0	0	0	2	11	5	0
8	2	3	1	7	14	19	2
15	4	17	2	12	15	20	4
22	8	22	6	19	16	35	10
30	12	33	10	21	18	37	12
41	18	45	15	21	19	51	13
63	24	60	17	31	30	53	20
71	30	73	21	37	32	53	27
75	36	75	24	40	33	56	35
Вариант 5		Вариант 6		Вариант 7		Вариант 8	
m_i	t_i	m_i	t_i	m_i	t_i	m_i	t_i
10	4	3	4	7	2	1	2
21	6	17	9	9	3	20	5
47	15	29	10	11	4	20	7
47	16	30	11	16	8	24	8
51	17	34	12	20	12	30	10
57	20	38	16	33	16	44	12
62	30	40	20	57	29	50	13
70	32	57	35	65	31	58	30
74	36	57	36	73	32	74	34
Вариант 9		Вариант 10					
m_i	t_i	m_i	t_i				
1	15	3	0				
7	18	13	8				
20	27	31	11				
23	35	38	18				
36	1	40	21				
38	11	50	28				
49	33	52	29				
68	17	52	34				
74	4	55	36				

Группа заданий № 2

Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3		Вариант 4	
m_i	t_i	m_i	t_i	m_i	t_i	m_i	t_i
3	11	17	5	17	10	2	2
6	12	21	6	39	12	12	4
15	19	32	7	44	19	37	7
48	24	34	12	54	24	43	9
51	26	36	15	59	27	57	12
52	29	48	16	63	29	62	14
54	30	63	24	68	30	66	25
56	32	64	26	70	31	68	31
62	35	72	28	72	33	75	35
Вариант 5		Вариант 6		Вариант 7		Вариант 8	
m_i	t_i	m_i	t_i	m_i	t_i	m_i	t_i
7	0	4	5	23	0	0	6
13	7	17	11	31	2	13	10
14	8	23	15	32	10	18	15
16	16	26	19	41	15	20	20
23	17	30	20	44	16	25	26
53	23	42	22	63	21	35	27
67	25	54	27	64	29	67	31
71	27	58	31	68	33	68	33
74	30	67	35	73	35	68	35
Вариант 9		Вариант 10					
m_i	t_i	m_i	t_i				
15	14	7	0				
18	16	9	13				
22	19	25	17				
36	28	29	18				
39	32	34	21				
44	33	39	24				
48	34	58	26				
58	35	67	28				
75	36	69	33				

Группа заданий № 3

Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3		Вариант 4	
m_i	t_i	m_i	t_i	m_i	t_i	m_i	t_i
10	1	10	3	20	5	3	0
14	3	12	6	24	6	6	6
20	6	22	11	25	13	7	17
27	7	22	14	26	14	12	20
27	8	24	17	39	20	28	21
37	14	40	21	51	26	45	28
43	27	54	24	57	27	54	30
43	30	61	29	62	29	54	33
74	33	72	36	64	33	66	34
Вариант 5		Вариант 6		Вариант 7		Вариант 8	
m_i	t_i	m_i	t_i	m_i	t_i	m_i	t_i
5	1	2	1	3	2	7	0
29	2	10	8	3	3	22	1
44	22	23	9	42	4	26	2
44	24	27	10	47	9	54	3
58	26	27	12	50	10	56	4
59	28	56	20	51	23	58	5
65	29	56	22	53	28	63	6
66	33	60	28	64	31	71	10
67	34	69	36	72	36	74	27
Вариант 9		Вариант 10					
m_i	t_i	m_i	t_i				
7	0	16	4				
7	2	24	10				
39	4	40	19				
41	8	45	21				
42	11	47	25				
47	14	48	29				
48	23	52	31				
60	28	53	32				
71	33	60	36				

Группа заданий № 4

Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3		Вариант 4	
m_i	t_i	m_i	t_i	m_i	t_i	m_i	t_i
0	3	10	1	5	3	3	6
5	6	30	4	21	0	16	9
9	7	35	5	25	12	20	10
15	8	38	7	29	14	25	17
26	10	40	9	47	16	36	18
37	16	42	18	52	20	36	19
44	23	54	29	53	24	49	20
53	27	58	30	54	29	63	26
63	31	73	33	72	32	65	29
Вариант 5		Вариант 6		Вариант 7		Вариант 8	
m_i	t_i	m_i	t_i	m_i	t_i	m_i	t_i
1	3	7	1	7	1	6	2
8	7	19	7	8	7	12	5
11	8	39	14	22	8	19	15
25	16	49	16	39	11	21	16
26	17	54	17	50	16	44	19
32	20	55	19	55	19	53	25
38	25	58	21	58	20	56	29
41	27	61	25	73	21	57	32
64	30	61	27	74	29	68	35
Вариант 9		Вариант 10					
m_i	t_i	m_i	t_i				
0	2	4	5				
8	4	8	6				
12	5	21	10				
20	10	36	13				
43	14	38	14				
46	18	42	21				
46	25	58	23				
51	33	59	28				
65	35	75	35				

Группа заданий № 5

Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3		Вариант 4	
m_i	t_i	m_i	t_i	m_i	t_i	m_i	t_i
7	3	2	0	0	4	0	3
21	14	14	2	1	9	5	9
21	16	27	10	11	23	10	13
22	19	33	11	24	29	11	16
29	20	46	12	30	30	30	18
41	27	51	14	32	31	52	19
49	28	59	15	54	32	61	21
64	29	66	19	63	34	63	28
75	32	69	28	73	35	69	30
Вариант 5		Вариант 6		Вариант 7		Вариант 8	
m_i	t_i	m_i	t_i	m_i	t_i	m_i	t_i
1	2	12	2	3	1	15	3
10	10	19	3	20	3	18	5
13	12	57	4	33	5	21	13
23	13	59	10	34	8	30	14
30	19	60	11	43	10	34	16
51	21	62	13	63	11	36	24
56	22	63	14	63	16	43	29
61	33	64	20	71	21	65	30
65	34	69	27	71	35	67	33
Вариант 9		Вариант 10					
m_i	t_i	m_i	t_i				
2	3	19	0				
9	12	23	4				
10	17	45	5				
30	18	47	11				
32	30	53	18				
36	21	54	23				
40	22	61	28				
49	23	70	29				
54	34	73	32				

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Терган, В.С. и др. Основы автоматизации производства / В.С. Терган, И. Б. Андреев, Б. С. Либерман. – М.: Машиностроение, 1982. – 269 с.
2. Робототехника и гибкое автоматизированное производство. В 9-ти книгах / под. ред. И.М. Макарова. – М.: Высшая школа, 1986.
3. Маталин, А. А. Технология машиностроения. – Л.: Машиностроение, 1985. – 485 с.
4. Дерябин, А. Л., Эстерзан И. А. Технология изготовления деталей на станках с ЧПУ и в ГПС / А. Л. Дерябин, И. А. Эстерзан. – М.: Машиностроение, 1989. – 228 с.
5. Проектирование технологии / под. ред. Ю.М Соломенцева. – М.: Машиностроение, 1990. – 416 с.
6. Гибкое автоматическое производство / под. ред. С. А. Майорова. – 2-е изд. – Л.: Машиностроение 1985. – 454 с.
7. Справочник технолога-приборостроителя / под. ред. В. П Сыроватченко. – 2-е изд. – М: Машиностроение, 1980.
8. Справочник технолога-машиностроителя / под. ред. А. Т. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985.
9. Остряковский, В.А. Теория надежности: учеб. для вузов / В.А. Остряковский. – М.: Высш. шк., 2003. – 463 с: ил.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Общие положения	3
2. Виды надежности и прогнозирование отказов ТС	9
3. Порядок выполнения работы	11
4. Варианты заданий	12
Библиографический список	17

**НАДЕЖНОСТЬ И ДИАГНОСТИКА
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению контрольных работ
для студентов направления подготовки бакалавров
15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»
(профиль «Металлообрабатывающие станки и комплексы»)
заочной формы обучения

Составитель
Жачкин Сергей Юрьевич

Издается в авторской редакции

Подписано к изданию 10.06.2022.
Уч.-изд. л. 0,9.

ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический
университет"
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84