

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА  
(РОСАВИАЦИЯ)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)

---

Кафедра технической эксплуатации авиационных  
электросистем и пилотажно-навигационных комплексов

С.В. Кузнецов

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

**Учебно-методическое пособие**  
по изучению дисциплины  
и выполнению контрольных заданий

*для студентов  
направления 25.04.02  
всех форм обучения*

Москва  
ИД Академии Жуковского  
2021

УДК 629.7.05:004.94  
ББК 053-082  
К89

Рецензент:

*Габеев В.Н.* – канд. техн. наук

**Кузнецов С.В.**

К89

Математическое моделирование процессов технической эксплуатации [Текст] : учебно-методическое пособие по изучению дисциплины и выполнению контрольных заданий. – М.: ИД Академии Жуковского, 2021. – 24 с.

Данное учебно-методическое пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Математическое моделирование процессов технической эксплуатации» по учебному плану для студентов направления 25.04.02 всех форм обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 28.09.2021 г. и методического совета 28.09.2021 г.

**УДК 629.7.05:004.94**  
**ББК 053-082**

*В авторской редакции*

Подписано в печать 22.11.2021 г.  
Формат 60x84/16 Печ. л. 1,5 Усл. печ. л. 1,395  
Заказ № 865/1004-УМП25 Тираж 30 экз.

Московский государственный технический университет ГА  
125993, Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20

Издательский дом Академии имени Н. Е. Жуковского  
125167, Москва, 8-го Марта 4-я ул., д. 6А  
Тел.: (495) 973-45-68  
E-mail: zakaz@itsbook.ru

© Московский государственный технический  
университет гражданской авиации, 2021

## 1. Общие положения рабочей программы

**Цель освоения дисциплины.** Изучение теории и практики математического моделирования процессов технической эксплуатации при поддержании летной годности воздушных судов (ВС), исправности и готовности АЭС и ПНК для последующего решения этих задач в процессе технической эксплуатации.

**Задачи изучения дисциплины.** Приобретение профессиональных компетенций, направленных на производственно-технологическую профессиональную деятельность, к которым готовятся выпускники, освоившие программу магистратуры.

**Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины, наименование индикатора достижения, результаты обучения.**

**Универсальные:**

**УК-1** – Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий.

**Результаты обучения:**

**знать:**

**УК-1.1.1** - - методы системного и критического анализа;

**УК-1.1.2** - - методики разработки стратегии действий для выявления и решения проблемной ситуации;

**уметь:**

**УК-1.2.1** - - применять методы системного подхода и критического анализа проблемных ситуаций;

**УК-1.2.2** - - разрабатывать стратегию действий, принимать конкретные решения для ее реализации;

**владеть:**

**УК-1.3.1** - - методологией системного и критического анализа проблемных ситуаций;

**УК-1.3.2** - - методиками постановки цели, определения способов ее достижения, разработки стратегий действий;

**Общепрофессиональные**

**ОПК-2** - - Способен применять фундаментальные основы теории

моделирования как основного метода исследования и научно обоснованного метода оценок характеристик сложных систем, используемого для принятия решений в различных сферах профессиональной деятельности..

***Результаты обучения:***

**ИД-1 опк-2** - Анализировать возможность применения различных методов математического моделирования сложных систем для исследования эффективности процесса технической эксплуатации АЭС и ПНК ВС

**знать:**

**ОПК-2.1.1** - - принципы, методы и средства вероятностно-статистического моделирования;

**ОПК-2.1.2** – - вероятностно-статистические модели изменения технического состояния и процессов эксплуатации объектов АЭС и ПНК ВС;

**ОПК-2.1.3** – - системы анализа эффективности процесса технической эксплуатации АЭС и ПНК ВС;

**Уметь:**

**ОПК-2.2.1** - - анализировать методы математического моделирования;

**ОПК-2.2.2** – - анализировать эффективность процесса технической эксплуатации АЭС и ПНК ВС;

**ОПК-2.3.3** – - анализировать адекватность математических моделей;

**Владеть:**

**ОПК-2.3.1** – - методами исследования изменений технического состояния и процессов эксплуатации объектов АЭС и ПНК ВС;

**ИД-2 опк-2** Оценивать применение различных методик проектирования сложных систем с учетом требований системного подхода.

**знать:**

**ОПК-2.1.7** – - модели управляемых состояний систем и процессов эксплуатации АЭС и ПНК ВС;

**ОПК-2.1.8** – - иерархическую структуру процессов эксплуатации АЭС и ПНК ВС и их взаимосвязи с производственными процессами;

**Уметь:**

**ОПК-2.2.7** – определять параметры моделей управляемых состояний использования по назначению и технического обслуживания АЭС и ПНК ВС;

**Владеть:**

**ОПК-2.3.3** - методами моделирования управляемых состояний использования по назначению и технического обслуживания АЭС и ПНК ВС;

**ИД-3 опк-2** - Анализировать основные подходы системотехники при организации процесса создания, использования и развития технических систем

**знать:**

**ОПК-2.1.9** – условия применения вероятностно-статистических моделей для исследования процессов эксплуатации объектов АЭС и ПНК ВС;

**ОПК-2.1.10** – информационное обеспечение вероятностно-статистического моделирования эксплуатации объектов АЭС и ПНК ВС;

ОПК-2.1.10

**Уметь:**

**ОПК-2.2.8** - анализировать информацию об эксплуатации объектов АЭС и ПНК ВС;

**ОПК-2.2.9** - абстрактно оценивать характеристики технического состояния и процессов эксплуатации объектов АЭС и ПНК ВС;

**Владеть:**

**ОПК-2.3.4** - методами оценки и анализа процессов эксплуатации объектов АЭС и ПНК ВС;

**ИД-4 опк-2** Оценивать методы и принципы проектирования и исследования систем автоматизированного проектирования и управления для достижения поставленных целей.

**знать:**

**ОПК-2.1.11** – методы программного управления системами и процессами эксплуатации АЭС и ПНК ВС;

**Уметь:**

**ОПК-2.2.10** - оценивать эффективность программного управления системами и процессами эксплуатации АЭС и ПНК ВС;

**Владеть:**

**ОПК-2.3.5** - навыками выбора режимов технической эксплуатации АЭС и ПНК ВС;

**ИД-5 опк-2** - Оценивать условия применения полумарковских моделей для исследования эффективности процесса технической эксплуатации АЭС и ПНК ВС и методов разработки рекомендаций по совершенствованию процесса технической эксплуатации АЭС и ПНК ВС по результатам моделирования.

**знать:**

**ОПК-2.1.12** – условия применения полумарковских моделей для исследования эффективности процесса технической эксплуатации АЭС и ПНК ВС и методов разработки рекомендаций по совершенствованию процесса технической эксплуатации ЛА по результатам моделирования;  
ОПК-2.1.12

**Уметь:**

**ОПК-2.2.11** - проверять адекватность и оценивать параметры полумарковских моделей процесса технической эксплуатации АЭС и ПНК ВС по данным эксплуатационных наблюдений;

**Владеть:**

**ОПК-2.3.6** - методами оценивания параметров полумарковских моделей процесса технической эксплуатации АЭС и ПНК ВС по данным эксплуатационных наблюдений;

**ИД-6 опк-2** – Оценивать взаимосвязи эффективности процессов технической эксплуатации АЭС и ПНК ВС и безубыточной производственной деятельности авиапредприятий ГА.

**знать:**

**ОПК-2.1.13** – взаимосвязь эффективности процессов технической эксплуатации АЭС и ПНК ВС и безубыточной производственной деятельности авиапредприятий ГА;

**ОПК-2.1.14** – основные способы совершенствования процесса технической эксплуатации АЭС и ПНК ВС и повышения его эффективности;

**Уметь:**

**ОПК-2.2.12** - анализировать показатели эффективности процесса технической эксплуатации АЭС и ПНК ВС;

**Владеть:**

**ОПК-2.3.7** - навыками комплексного анализа показателей эффективности процесса технической эксплуатации АЭС и ПНК ВС.

## **МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Дисциплина *Математическое моделирование процессов технической эксплуатации* относится к учебным дисциплинам обязательной части учебного плана образовательной программы направления подготовки 25.04.02 -Техническая эксплуатация авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов, квалификация (степень) - магистр.

Для успешного освоения данной дисциплины обучающийся должен владеть знаниями, умениями и навыками, сформированными по дисциплинам:

Б1.ОД.2Управление качеством  
в частности:

**знать:**

- методы оценки и анализа системы управления качеством процессов технической эксплуатации и поддержания летной годности АЭС и ПНК ВС;

**уметь:**

- осуществлять статистический контроль качества процессов технической эксплуатации и поддержания летной годности АЭС и ПНК ВС;

**владеть:**

- методами менеджмента качества в системе эффективного управления производственно-хозяйственной деятельностью авиационных предприятий;

Освоение дисциплины *Математическое моделирование процессов технической эксплуатации* необходимо для последующих дисциплин:

Б1.ВД.М.1.8 Пакеты прикладных программ АЭС и авионики;

Б1.ВД.М.1.9 Системы эксплуатационного контроля АЭС и авионики;

Б1.ВД.М.2.8 Пакеты прикладных программ АЭС и ПНК;

Б1.ВД.М.2.9 Системы эксплуатационного контроля АЭС и ПНК;

Б2.ОП.П.1 Производственная 1. Научно-исследовательская работа

## **2. Контрольное домашнее задание**

В условиях самоизоляции изучение учебной дисциплины происходит с применением следующей дистанционной технологии.

Студенты изучают дисциплину самостоятельно с помощью учебной литературы [1-3]. Эта литература выдается студентам в электронном виде. После изучения учебного материала студенты выполняют контрольное домашнее задание (КДЗ) по 8-и темам.

### **Тема-1. Структура систем и процессов ТЭ АЭС и авионики.**

Методические указания к изучению темы 1.

Литература: [1: параграф 1.1, 2-3].

Вопросы:

1. Что включает система технической эксплуатации авионики ВС?
2. Что представляет из себя авионика, как объект ТЭ?
3. Для решения каких задач предназначена авионика?
4. Каковы уровни детализации для исследования авионики?
5. Что такое ПНК?
6. Что такое функциональная система (ФС) авионики
7. Что такое демонтируемый блок ДБ (конструктивно-съёмный блок КСБ)?
8. Что такое конструктивно-функциональный модуль (КФМ)?
9. Что такое электрорадиоэлемент ЭРЭ?
10. Что представляют из себя средства технической эксплуатации авионики?
11. Что обеспечивают средства аэродромного обслуживания?
12. В состав каких средств входят средства аэродромного обслуживания?
13. Что включают средства контроля авионики?
14. Что представляют собой средства восстановления авионики на борту?
15. Что представляют собой средства восстановления авионики в лабораторных условиях?
16. Что определяют программы технического обслуживания и ремонта (ТО-иР) авионики?
17. Каковы задачи летно-технического (ЛТС) и инженерно-технического состава (ИТС)?
18. Что такое процесс ТЭ?
19. Что включает использование авионики по назначению в полете?
20. К чему приводит использование авионики по назначению?
21. Каковы процессы эксплуатационного контроля?
22. Каковы виды ТО?
23. Каковы виды восстановления?
24. Каковы виды ремонтов?
25. Каковы дополнительные состояния процессов в реальном масштабе времени?
26. Что представляет собой процесс ТЭ?
27. Под действием каких видов факторов развивается процесс ТЭ?
28. Каким образом происходят переходы процесса ТЭ из состояния в состояние?
29. Чем порождаются переходы процесса ТЭ из состояния в состояние?
30. Что представляет собой процесс ТЭ с математической точки зрения?
31. Какое дополнительное свойство присутствует в процессе ТЭ?
32. Какой характер носит управление процессом ТЭ?
33. Какая математическая теория наиболее подходит к исследованию процессов ТЭ?
34. Что представляет собой управляемый процесс ТЭ с математической точки

зрения?

35. Каковы технические состояния авионики?
36. Каковы технические состояния авионики с учетом контроля?
37. Какая система ТЭ является системой более высокого уровня иерархии по отношению к системе ТЭ АЭС и авионики?
38. Чем характеризуется качество СТЭ ВС?

## **Тема-2. Особенности системы ТЭ цифрового ПНО – авионики**

Методические указания к изучению темы 2.

Литература: [1: параграф 1.1, 2-3].

1. Каковы особенности принципов построения и технической реализации цифрового ПНО (авионики) нового поколения ВС ГА?
2. Каковы конструктивные и технологические особенности цифрового ПНО (авионики)?
3. Какие негативные факторы и особенности следует учитывать при формировании системы ТЭ цифрового ПНО (авионики)?
4. Каковы особенности конструкции и технологии средств эксплуатационного контроля цифрового ПНО?
5. Какие негативные факторы и особенности средств эксплуатационного контроля следует учитывать?
6. Каковы особенности средств восстановления цифрового ПНО (авионики)?
7. Какие негативные факторы и особенности средств восстановления следует учитывать?
8. В чем заключаются особенности организации процессов ТЭ ВС с цифровым ПНО (авионикой)?
9. В чем заключаются особенности организации процессов ТЭ цифрового ПНО (авионики)?
10. Каковы негативные факторы организации процессов ТЭ ПНО (авионики)?

## **Тема 3. Применение математического моделирования для оптимизации процессов и синтеза систем ТЭ ПНО (авионики)**

Методические указания к изучению темы 3.

Литература: [1: параграф 1.2, 2-3].

1. Для чего нужно математическое моделирование системы ТЭ?
2. Каков характер процесса технической эксплуатации?
3. Каков характер математических моделей, применяемых для исследования процесса ТЭ?
4. Какая теория является основным инструментом исследования вероятностных характеристик состояний процесса технической эксплуатации?

5. Почему аналитические методы можно использовать для ряда конкретных задач ТЭ?
6. В каких случаях используются методы имитационного моделирования?
7. В каких случаях аналитическое моделирование может быть использовано при имитационном моделировании?
8. В каких случаях имитационное моделирование может быть использовано при аналитическом моделировании?
9. Зачем нужен комбинированный подход в моделировании?
10. Для чего нужен учет влияния характеристик подсистем на эффективность всей системы в целом и зачем он должен производиться через соответствующие процессы в соответствующих временных интервалах их протекания?
11. Как должны вводиться изменения характеристик системы и подсистем ТЭ?
12. В чем состоит основная трудность применения метода математического моделирования?
13. Что первично – требования к математической модели, или содержание конкретной технической задачи?
14. Чего следует избегать в математическом моделировании для получения реального практического результата?
15. С какими проблемами приходится сталкиваться при решении вопроса о построении каждой конкретной модели?
16. Что такое модель системы (процесса) ТЭ?
17. Что понимается под факторами модели?
18. Какие значения могут принимать факторы?
19. Какими общими положениями следует руководствоваться при решении вопроса о целесообразности применения математического моделирования?
20. Как достигаются наилучшие результаты в математическом моделировании?
21. В чем состоит существо теоретико-экспериментального или расчетно-экспериментального метода моделирования процессов ТЭ?
22. Что позволяет сделать теоретико-экспериментальный (расчетно-экспериментальный) метод?
23. Что включает расчетно-экспериментальный метод оценки эффективности систем ТЭ ПНО?
24. Какая альтернатива возникает в процессе создания моделей?
25. Какой из двух альтернатив следует отдавать предпочтение в процессе создания моделей?

#### **Тема 4. Системный подход и классификация математических моделей систем ТЭ ПНО (авионики)**

Методические указания к изучению темы 4.

Литература: [1: параграф 1.2, 2-3].

1. В чем сущность системного подхода при определении структуры комплекса

- моделей для оценки эффективности систем ТЭ ПНО?
2. Что необходимо для оценки показателей качества системы в целом?
  3. Какой порядок должна обеспечивать общая схема математического моделирования?
  4. Какие основные категории требований можно предъявить к каждой из создаваемых моделей?
  5. Какой вопрос решается в результате анализа требований к модели?
  6. По каким категориям осуществляется классификация моделей сложных систем?
  7. Какие элементы включают в себя общие модели?
  8. Для чего нужны частные модели?
  9. Как строятся частные модели?
  10. Как различаются модели по принципу построения?
  11. Как различаются модели по форме или степени приближения к моделируемой системе?
  12. Какая модель является изоморфной?
  13. Какая модель является гомоморфной?
  14. Для чего применяются гомоморфные модели?
  15. Как различаются модели по методу формализации процессов модели?
  16. На чем базируется аналитический метод?
  17. Где применяются аналитические модели?
  18. В каком случае применяются имитационные модели?
  19. Какими могут быть аналитические и имитационные модели?
  20. В чем специфика детерминированных моделей?
  21. В каких случаях применяются детерминированные модели?
  22. В чем специфика стохастических моделей?
  23. Что производится в стохастических имитационных моделях?
  24. К чему сводится процесс имитационного (статистического) моделирования?
  25. Как делятся модели по способу реализации отдельных элементов?
  26. Как задается масштаб времени процесса моделирования?

### **Тема 5. Требования к математическим моделям систем ТЭ ПНО (авионики), принципы и этапы моделирования**

Методические указания к изучению темы 5.

Литература: [1: параграф 1.2, 2-3].

1. Каковы требования, предъявляемые к математическим моделям?
2. Какие задачи должны решать математические модели систем ТЭ ПНО (авионики)?
3. Что должны обеспечить принципы построения алгоритмов и программ математической модели системы?
4. В чем состоят основные методические принципы оценки эффективности?

5. Что обеспечивают основные методические принципы оценки эффективности?
6. Для чего используются результаты автономного моделирования?
7. Что обеспечивается результатами автономного моделирования?
8. Что позволяют сделать результаты автономного моделирования?
9. Что следует отнести к важным принципам построения математической модели системы?
10. Каков процесс достижения требуемых характеристик быстродействия модели?
11. Какие требования следует отнести к общим принципам построения математической модели?
12. Что обеспечивают меры, специальные алгоритмы и программы математических моделей?
13. Что включает жизненный цикл моделей?
14. Что осуществляется на первом этапе жизненного цикла модели?
15. Что разрабатывается на первом этапе жизненного цикла модели?
16. Что формируется на первом этапе жизненного цикла модели?
17. Что производится на втором этапе жизненного цикла модели?
18. Что разрабатывается на втором этапе жизненного цикла модели?
19. Что уточняется на втором этапе жизненного цикла модели?
20. Что производится на третьем этапе жизненного цикла модели?
21. Чего добиваются на третьем этапе жизненного цикла модели?
22. Что получают на третьем этапе жизненного цикла модели?
23. Чем завершается третий этап жизненного цикла модели?
24. Что происходит на четвертом этапе жизненного цикла модели?
25. Что осуществляется на четвертом этапе жизненного цикла модели?

## **Тема 6. Анализ потоков отказов и неисправностей ПНО (авионики)**

### Методические указания к изучению темы 6.

Литература: [1: параграф 2.1, 2-3].

1. Что такое процесс ТЭ ПНО (авионики)?
2. Что предшествует построению математических моделей процессов и систем ТЭ ПНО?
3. Как рассматриваются потоки событий?
4. Какие потоки являются основными потоками событий в процессе ТЭ ПНО?
5. Что необходимо сделать при анализе потоков событий?
6. Что является результатом анализа потоков событий?
7. Что является отказом блока ПНО (авионики)?
8. К чему приводит отказ блока ПНО в структурно не резервированных ФС ПНО?

9. К чему приводит отказ блока ПНО в структурно резервированных ФС ПНО?
10. К чему приводит отказ ФС ПНО в функционально не резервированных ПНК?
11. К чему приводит отказ ФС ПНО в функционально резервированных ПНК?
12. Что представляют собой потоки отказов и неисправностей ПНО?
13. Чем различаются потоки отказов и неисправностей?
14. Что необходимо для доказательства ординарности потоков отказов и неисправностей?
15. Чем можно пренебречь при доказательстве ординарности потоков отказов и неисправностей?
16. Что необходимо показать для доказательства отсутствия последствия потока?
17. Какими методами воспользуемся для доказательства статистической независимости потоков?
18. Почему воспользуемся свободными от распределений непараметрическими методами?
19. Что необходимо показать для доказательства стационарности потока?
20. Что необходимо показать чтобы сделать заключение о том, вероятностные характеристики не меняются со временем?
21. Какая характеристика является основной вероятностной характеристикой потоков отказов и неисправностей?
22. В каком случае интенсивность постоянна?
23. Какую характеристику используют при рассмотрении вероятностных характеристик потоков отказов и неисправностей ПНО как восстанавливаемых изделий?
24. Какими методами следует воспользоваться для доказательства наличия или отсутствия стационарности потоков отказов и неисправностей?
25. Что необходимо знать для определения вида потоков отказов и неисправностей?
26. Какие методы существуют для определения распределения интервала времени между событиями?
27. В какой задаче об определении класса функции распределения времени между отказами и неисправностями следует пользоваться непараметрическими методами?
28. На чем основывается статистическое оценивание наработки по результатам наблюдений?
29. Из чего исходят в задаче согласования данных?

### **Тема 7. Анализ потоков восстановлений ПНО (авионики)**

Методические указания к изучению темы 7.

Литература: [1: параграф 2.2, 2-3].

1. Что такое *восстановлением блока ПНО* после отказа?
2. Что такое *восстановлением ФС ПНО* после отказа?
3. Что такое *восстановление ПНК* после отказа?
4. Чем порождаются требования на восстановление ПНО?
5. Что представляют из себя потоки требований на восстановление ПНО?
6. При каком предположении математической моделью процесса является *простой процесс восстановления*?
7. В каком случае математической моделью является *альтернирующий процесс восстановления*?
8. Каковы два типа потоков восстановлений?
9. Что такое поток выполненных восстановлений?
10. Как различаются потоки требований на восстановление и потоки выполненных восстановлений?
11. Чем определяются ординарность или неординарность требований на восстановление?
12. Чем определяется ординарность или неординарность потоков требований на восстановление?
13. Что следует учитывать при анализе процесса ТЭ парка ВС?
14. Что происходит при рассмотрении суммы потоков очень большого парка ВС?
15. Что приводит к нарушению свойства ординарности потоков требований на восстановление ФС и ПНК?
16. Что приводит к нарушению свойства ординарности потоков требований на восстановление демонтированных блоков?
17. Зависит ли порядок восстановления ПНО бригадой от того как формируются потоки отказов и неисправностей - ординарно или неординарно?
18. Из чего следует вывод об ординарности потоков выполненных восстановлений ПНК и ФС ПНО?
19. В каком случае свойство ординарности потоков восстановлений нарушается?
20. Когда появляются "пачки" восстановлений?
21. Из чего следует вывод об ординарности потоков выполненных восстановлений блоков ПНО?
22. В каком случае поток выполненных восстановлений обладает ограниченным последствием?
23. Какими методами следует воспользоваться для доказательства независимости потоков восстановлений?
24. Что является основной вероятностной характеристикой потока требований на восстановление?
25. Что является основной вероятностной характеристикой потока выполненных требований на восстановление?

**Тема 8. Анализ потоков обслуживаний ПНО (авионики)**Методические указания к изучению темы 8.

Литература: [1: параграф 2.3, 2-3].

1. Что такое обслуживание ПНК?
2. Что такое обслуживание ФС ПНО?
3. Что такое обслуживание блока ПНО?
4. Чем порождаются требования на обслуживание ПНО?
5. Что представляют собой потоки требований на обслуживание ПНО?
6. Что является математической моделью процесса обслуживания?
7. Что является математической моделью процесса обслуживания, если время обслуживания следует учитывать?
8. Что следует учитывать наряду с потоком требований на обслуживание?
9. В чем заключается плановое оперативное ТО ПНО?
10. Что присутствует в потоке требований на проведение планового оперативного ТО?
11. В каком случае потоки требований на оперативное обслуживание ПНК и ФС ПНО можно считать ординарными?
12. В каких случаях свойство ординарности потоков обслуживаний нарушается?
13. В каких случаях возникает необходимость аварийного восстановления?
14. Когда потоки обслуживаний становятся неординарными?
15. Почему потоки требований на выполнение оперативного обслуживания блоков ПНО следует считать неординарными?
16. Как формируются потоки планового периодического ТО?
17. Как удается обеспечить равномерное поступление требований на проведение периодического ТО ПНО и считать потоки ординарными?
18. В каких случаях производится их демонтаж с борта ВС блоков ФС ПНО для периодического ТО?
19. Откуда возникает неординарность потоков требований на периодическое ТО блоков ПНО?
20. При каком условии потоки выполненных оперативных обслуживаний ПНК и ФС ПНО являются ординарными?
21. В каком случае ординарность потоков выполненных оперативных обслуживаний ПНК и ФС ПНО нарушается?
22. Как все-таки можно соблюсти свойство ординарности ординарность потоков выполненных оперативных обслуживаний ПНК и ФС ПНО?
23. Как обеспечивается свойство ординарности потоках выполненных периодических обслуживаний ПНК и ФС ПНО?
24. При каком условии потоки выполненных оперативных обслуживаний ПНК и ФС ПНО являются ординарными?

25. В каком случае ординарность потоков выполненных периодических обслуживаний ПНК и ФС ПНО нарушается?
26. В каком случае потоки выполненных периодических обслуживаний ПНК и ФС ПНО все-таки можно считать ординарными?
27. Каковы свойства потоков выполненных периодических обслуживаний ПНК и ФС ПНО?
28. Почему потоки обслуживаний демонтированных блоков в лаборатории можно считать ординарными?
29. Что способствует проявлению ординарности потоков демонтированных блоков?
30. Почему гипотеза об отсутствии последствия в потоках обслуживаний ПНО принимается?
31. Почему гипотеза о независимости наблюдений в потоках обслуживаний ПНО принимается?
32. Что служит основной вероятностной характеристикой потока требований на обслуживание?
33. Что служит доказательством стационарности потоков обслуживаний?
34. На основании чего принимается гипотеза об усеченном нормальном распределении потоков обслуживаний?

**Темы 9-12. Определение характеристик процессов ТЭ. Математическое моделирование процессов и систем ТЭ. Оптимизация процессов ТЭ. Анализ и синтез систем ТЭ на основе метода переменных состояния.**

Методические указания к изучению темы 9-12.

Литература: [1, главы 3-6, 2-3].

По этим темам вопросов в КДЗ нет. Они изучаются студентом самостоятельно. Вопросы по этим темам выдаются студентам на диф. зачете, если они претендуют на высокую оценку.

Номер контрольного задания студентам выдается преподавателем. Если не оговорено специально, то номер студента соответствует его номеру в групповом учебном журнале (или номеру в зачетной ведомости). Номер надо узнать у командира группы.

Согласно таблице 1 вариантов в контрольное задание должны быть включены вопросы из общего перечня по темам в соответствии с вариантами контрольных заданий.

Таблица 1. Номера контрольных заданий и соответствующие им вопросы по темам

| Варианты контрольных | Вопросы общего перечня по темам |
|----------------------|---------------------------------|
|----------------------|---------------------------------|

| заданий | №1                      | №2                   | №3                      | №4                      | №5                      | №6                      | №7                      | №8                      |  |  |
|---------|-------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--|--|
| 1       | 1, 31,<br>23, 15,<br>7  | 1,3,<br>5, 7,<br>9   | 1, 6,<br>11, 16,<br>21  | 1, 6,<br>11, 16,<br>21  | 1, 6,<br>11, 16,<br>21  | 1, 29,<br>23, 15,<br>7  | 1, 6,<br>11, 16,<br>21  | 1, 31,<br>23, 15,<br>7  |  |  |
| 2       | 2, 32,<br>24, 16,<br>8  | 2, 4,<br>6, 8,<br>10 | 2, 7,<br>12, 17,<br>22  | 2, 7,<br>12, 17,<br>22  | 2, 7,<br>12, 17,<br>22  | 2, 28,<br>24, 16,<br>8  | 2, 7,<br>12, 17,<br>22  | 2, 32,<br>24, 16,<br>8  |  |  |
| 3       | 3, 33,<br>25, 17,<br>9  | 1,3,<br>5, 7,<br>9   | 3, 8,<br>13, 18,<br>23  | 3, 8,<br>13, 18,<br>23  | 3, 8,<br>13, 18,<br>23  | 3, 27,<br>25, 17,<br>9  | 3, 8,<br>13, 18,<br>23  | 3, 33,<br>25, 17,<br>9  |  |  |
| 4       | 4, 34,<br>26, 18,<br>10 | 2, 4,<br>6, 8,<br>10 | 4, 9,<br>14, 19,<br>24  | 4, 9,<br>14, 19,<br>24  | 4, 9,<br>14, 19,<br>24  | 4, 25,<br>26, 18,<br>10 | 4, 9,<br>14, 19,<br>24  | 4, 34,<br>26, 18,<br>10 |  |  |
| 5       | 5, 35,<br>27, 19,<br>11 | 1,3,<br>5, 7,<br>9   | 5, 10,<br>15, 20,<br>25 | 5, 10,<br>15, 20,<br>25 | 5, 10,<br>15, 20,<br>25 | 5, 26,<br>27, 19,<br>11 | 5, 10,<br>15, 20,<br>25 | 5, 33,<br>27, 19,<br>11 |  |  |
| 6       | 6, 36,<br>28, 20,<br>12 | 2, 4,<br>6, 8,<br>10 | 1, 6,<br>11, 16,<br>21  | 1, 6,<br>11, 16,<br>21  | 1, 6,<br>11, 16,<br>21  | 6, 24,<br>28, 20,<br>12 | 1, 6,<br>11, 16,<br>21  | 6, 32,<br>28, 20,<br>12 |  |  |
| 7       | 7, 37,<br>29, 21,<br>13 | 1,3,<br>5, 7,<br>9   | 2, 7,<br>12, 17,<br>22  | 2, 7,<br>12, 17,<br>22  | 2, 7,<br>12, 17,<br>22  | 7, 23,<br>29, 21,<br>13 | 2, 7,<br>12, 17,<br>22  | 7, 31,<br>29, 21,<br>13 |  |  |
| 8       | 8, 38,<br>30, 22,<br>14 | 2, 4,<br>6, 8,<br>10 | 3, 8,<br>13, 18,<br>23  | 3, 8,<br>13, 18,<br>23  | 3, 8,<br>13, 18,<br>23  | 8, 21,<br>29, 22,<br>14 | 3, 8,<br>13, 18,<br>23  | 8, 28,<br>30, 22,<br>14 |  |  |
| 9       | 9, 1,<br>31, 23,<br>15  | 1,3,<br>5, 7,<br>9   | 4, 9,<br>14, 19,<br>24  | 4, 9,<br>14, 19,<br>24  | 4, 9,<br>14, 19,<br>24  | 9, 1,<br>20, 23,<br>15  | 4, 9,<br>14, 19,<br>24  | 9, 1,<br>31, 23,<br>15  |  |  |
| 10      | 10, 2,<br>32, 24,<br>16 | 2, 4,<br>6, 8,<br>10 | 5, 10,<br>15, 20,<br>25 | 5, 10,<br>15, 20,<br>25 | 5, 10,<br>15, 20,<br>25 | 10, 2,<br>19, 24,<br>16 | 5, 10,<br>15, 20,<br>25 | 10, 2,<br>32, 24,<br>16 |  |  |
| 11      | 11, 3,<br>33, 25,<br>17 | 1,3,<br>5, 7,<br>9   | 1, 6,<br>11, 16,<br>21  | 1, 6,<br>11, 16,<br>21  | 1, 6,<br>11, 16,<br>21  | 11, 3,<br>18, 25,<br>17 | 1, 6,<br>11, 16,<br>21  | 11, 3,<br>33, 25,<br>17 |  |  |
| 12      | 12, 4,<br>34, 26,<br>18 | 2, 4,<br>6, 8,<br>10 | 2, 7,<br>12, 17,<br>22  | 2, 7,<br>12, 17,<br>22  | 2, 7,<br>12, 17,<br>22  | 12, 4,<br>17, 26,<br>18 | 2, 7,<br>12, 17,<br>22  | 12, 4,<br>34, 26,<br>18 |  |  |
| 13      | 13, 5,<br>35, 27,<br>19 | 1,3,<br>5, 7,<br>9   | 3, 8,<br>13, 18,<br>23  | 3, 8,<br>13, 18,<br>23  | 3, 8,<br>13, 18,<br>23  | 13, 5,<br>16, 27,<br>19 | 3, 8,<br>13, 18,<br>23  | 13, 5,<br>34, 27,<br>19 |  |  |

|    |                         |                      |                         |                         |                         |                         |                         |                         |  |  |
|----|-------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--|--|
| 14 | 14, 6,<br>36, 28,<br>20 | 2, 4,<br>6, 8,<br>10 | 4, 9,<br>14, 19,<br>24  | 4, 9,<br>14, 19,<br>24  | 4, 9,<br>14, 19,<br>24  | 14, 6,<br>15, 28,<br>20 | 4, 9,<br>14, 19,<br>24  | 14, 6,<br>33, 28,<br>20 |  |  |
| 15 | 15, 7,<br>37, 29,<br>21 | 1,3,<br>5, 7,<br>9   | 5, 10,<br>15, 20,<br>25 | 5, 10,<br>15, 20,<br>25 | 5, 10,<br>15, 20,<br>25 | 15, 7,<br>14, 29,<br>21 | 5, 10,<br>15, 20,<br>25 | 15, 7,<br>32, 29,<br>21 |  |  |
| 16 | 16, 8,<br>38, 30,<br>22 | 2, 4,<br>6, 8,<br>10 | 1, 6,<br>11, 16,<br>21  | 1, 6,<br>11, 16,<br>21  | 1, 6,<br>11, 16,<br>21  | 16, 8,<br>13, 28,<br>22 | 1, 6,<br>11, 16,<br>21  | 16, 8,<br>31, 30,<br>22 |  |  |
| 17 | 17, 9,<br>1, 31,<br>23  | 1,3,<br>5, 7,<br>9   | 2, 7,<br>12, 17,<br>22  | 2, 7,<br>12, 17,<br>22  | 2, 7,<br>12, 17,<br>22  | 17, 9,<br>1, 12,<br>23  | 2, 7,<br>12, 17,<br>22  | 17, 9,<br>1, 31,<br>23  |  |  |
| 18 | 18, 10,<br>2, 32,<br>24 | 2, 4,<br>6, 8,<br>10 | 3, 8,<br>13, 18,<br>23  | 3, 8,<br>13, 18,<br>23  | 3, 8,<br>13, 18,<br>23  | 18, 10,<br>2, 11,<br>24 | 3, 8,<br>13, 18,<br>23  | 18, 10,<br>2, 32,<br>24 |  |  |
| 19 | 19, 11,<br>3, 33,<br>25 | 1,3,<br>5, 7,<br>9   | 4, 9,<br>14, 19,<br>24  | 4, 9,<br>14, 19,<br>24  | 4, 9,<br>14, 19,<br>24  | 19, 11,<br>3, 10,<br>25 | 4, 9,<br>14, 19,<br>24  | 19, 11,<br>3, 33,<br>25 |  |  |
| 20 | 20, 12,<br>4, 34,<br>26 | 2, 4,<br>6, 8,<br>10 | 5, 10,<br>15, 20,<br>25 | 5, 10,<br>15, 20,<br>25 | 5, 10,<br>15, 20,<br>25 | 20, 12,<br>4, 9,<br>26  | 5, 10,<br>15, 20,<br>25 | 20, 12,<br>4, 34,<br>26 |  |  |
| 21 | 21, 13,<br>5, 35,<br>27 | 1,3,<br>5, 7,<br>9   | 1, 6,<br>11, 16,<br>21  | 1, 6,<br>11, 16,<br>21  | 1, 6,<br>11, 16,<br>21  | 21, 13,<br>5, 8,<br>27  | 1, 6,<br>11, 16,<br>21  | 21, 13,<br>5, 34,<br>27 |  |  |
| 22 | 22, 14,<br>6, 36,<br>28 | 2, 4,<br>6, 8,<br>10 | 2, 7,<br>12, 17,<br>22  | 2, 7,<br>12, 17,<br>22  | 2, 7,<br>12, 17,<br>22  | 22, 14,<br>6, 7,<br>28  | 2, 7,<br>12, 17,<br>22  | 22, 14,<br>6, 33,<br>28 |  |  |
| 23 | 23, 15,<br>7, 37,<br>29 | 1,3,<br>5, 7,<br>9   | 3, 8,<br>13, 18,<br>23  | 3, 8,<br>13, 18,<br>23  | 3, 8,<br>13, 18,<br>23  | 23, 15,<br>7, 6,<br>29  | 3, 8,<br>13, 18,<br>23  | 23, 15,<br>7, 32,<br>29 |  |  |
| 24 | 24, 16,<br>8, 38,<br>30 | 2, 4,<br>6, 8,<br>10 | 4, 9,<br>14, 19,<br>24  | 4, 9,<br>14, 19,<br>24  | 4, 9,<br>14, 19,<br>24  | 24, 16,<br>8, 5,<br>29  | 4, 9,<br>14, 19,<br>24  | 24, 16,<br>8, 31,<br>30 |  |  |
| 25 | 25, 17,<br>9, 1,<br>31  | 1,3,<br>5, 7,<br>9   | 5, 10,<br>15, 20,<br>25 | 5, 10,<br>15, 20,<br>25 | 5, 10,<br>15, 20,<br>25 | 25, 17,<br>9, 1, 4      | 5, 10,<br>15, 20,<br>25 | 25, 17,<br>9, 1,<br>31  |  |  |
| 26 | 26, 18,<br>10, 2,<br>32 | 2, 4,<br>6, 8,<br>10 | 1, 6,<br>11, 16,<br>21  | 1, 6,<br>11, 16,<br>21  | 1, 6,<br>11, 16,<br>21  | 26, 18,<br>10, 2,<br>3  | 1, 6,<br>11, 16,<br>21  | 26, 18,<br>10, 2,<br>32 |  |  |
| 27 | 27, 19,<br>11, 3,       | 1,3,<br>5, 7,        | 2, 7,<br>12, 17,        | 2, 7,<br>12, 17,        | 2, 7,<br>12, 17,        | 27, 19,<br>11, 3,       | 2, 7,<br>12, 17,        | 27, 19,<br>11, 3,       |  |  |

|    |                         |                      |                         |                         |                         |                        |                         |                         |  |  |
|----|-------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|--|--|
|    | 33                      | 9                    | 22                      | 22                      | 22                      | 2                      | 22                      | 33                      |  |  |
| 28 | 28, 20,<br>12, 4,<br>34 | 2, 4,<br>6, 8,<br>10 | 3, 8,<br>13, 18,<br>23  | 3, 8,<br>13, 18,<br>23  | 3, 8,<br>13, 18,<br>23  | 28, 20,<br>12, 4,<br>1 | 3, 8,<br>13, 18,<br>23  | 28, 20,<br>12, 4,<br>34 |  |  |
| 29 | 29, 21,<br>13, 5,<br>35 | 1,3,<br>5, 7,<br>9   | 4, 9,<br>14, 19,<br>24  | 4, 9,<br>14, 19,<br>24  | 4, 9,<br>14, 19,<br>24  | 29, 21,<br>13, 5,<br>2 | 4, 9,<br>14, 19,<br>24  | 29, 21,<br>13, 5,<br>34 |  |  |
| 30 | 30, 22,<br>14, 6,<br>36 | 2, 4,<br>6, 8,<br>10 | 5, 10,<br>15, 20,<br>25 | 5, 10,<br>15, 20,<br>25 | 5, 10,<br>15, 20,<br>25 | 3, 22,<br>14, 6,<br>29 | 5, 10,<br>15, 20,<br>25 | 30, 22,<br>14, 6,<br>33 |  |  |

Контрольное домашнее задание (КДЗ) оформляется студентом в виде отдельного документа с титульным листом, номером контрольного задания и фамилией его выполнившего студента.

Ответы на вопросы следует оформлять в виде следующих таблиц по каждой теме.

Таблица 2

|   | Тема №1.             | Структура систем и процессов ТЭ АЭС и авионики |
|---|----------------------|--|
|   | Формулировка вопроса | Формулировка ответа                            |
| 1 |                      |  |
| 2 |                      |  |
| 3 |                      |  |
| 4 |                      |  |
| 5 |                      |  |

Таблица 3

|   | Тема №2.             | Особенности системы ТЭ цифрового ПНО - авионики |
|---|----------------------|---|
|   | Формулировка вопроса | Формулировка ответа                             |
| 1 |                      |   |
| 2 |                      |   |
| 3 |                      |   |
| 4 |                      |   |
| 5 |                      |   |

Таблица 4

|  | Тема №3      | Применение математического моделирования для оптимизации процессов и синтеза систем ТЭ ПНО (авионики) |
|--|--------------|---|
|  | Формулировка | Формулировка ответа   |
|  |              |   |

|   | вопроса |  |
|---|---------|--|
| 1 |         |  |
| 2 |         |  |
| 3 |         |  |
| 4 |         |  |
| 5 |         |  |

Таблица 5

|   | Тема №4              | Системный подход и классификация математических моделей систем ТЭ ПНО (авионики) |
|---|----------------------|--|
|   | Формулировка вопроса | Формулировка ответа  |
| 1 |                      |  |
| 2 |                      |  |
| 3 |                      |  |
| 4 |                      |  |
| 5 |                      |  |

Таблица 6

|   | Тема №5              | Требования к математическим моделям систем ТЭ ПНО (авионики), принципы и этапы моделирования |
|---|----------------------|--|
|   | Формулировка вопроса | Формулировка ответа  |
| 1 |                      |  |
| 2 |                      |  |
| 3 |                      |  |
| 4 |                      |  |
| 5 |                      |  |

Таблица 7

|   | Тема №6              | Анализ потоков отказов и неисправностей ПНО (авионики) |
|---|----------------------|--|
|   | Формулировка вопроса | Формулировка ответа                                    |
| 1 |                      |  |
| 2 |                      |  |
| 3 |                      |  |
| 4 |                      |  |
| 5 |                      |  |

Таблица 8

|  | Тема №7 | Анализ потоков восстановлений ПНО (авионики) |
|--|---------|--|
|--|---------|--|

|   | Формулировка вопроса | Формулировка ответа |
|---|----------------------|---------------------|
| 1 |                      |                     |
| 2 |                      |                     |
| 3 |                      |                     |
| 4 |                      |                     |
| 5 |                      |                     |

Таблица 9

|   | Тема №8              | Анализ потоков обслуживаний ПНО (авионики) |
|---|----------------------|--|
|   | Формулировка вопроса | Формулировка ответа                        |
| 1 |                      |  |
| 2 |                      |  |
| 3 |                      |  |
| 4 |                      |  |
| 5 |                      |  |

Этот документ формируется в виде файла в Word или в формате pdf. Наименование файла должно содержать фамилию студента. Свой файл студент направляет командиру. Он собирает файлы со всех студентов группы, архивирует и направляет на электронную почту преподавателю. После проверки заданий преподаватель уведомляет командира о результатах проверки по электронной почте.

Выполненное и зачтенное КДЗ служит допуском к дифференцированному зачету.

### 3. Дистанционная сдача дифференцированного зачета

В день сдачи зачета в 10.00 студенты устанавливают связь с командиром (по электронной почте, WhatsApp или другим способом) и подтверждают свое намерение сдать зачет.

Командир формирует перечень студентов, присутствующих на зачете и высылает этот список преподавателю по электронной почте.

Преподаватель формирует перечень вопросов для каждого присутствующего на зачете студента, например, в виде таблицы 10. Этот перечень он высылает по электронной почте командиру.

Таблица. 10

| № пп | ФИО студента | Тема 1 | Тема 2 | Тема 3 | Тема 4 | Тема 5 | Тема 6 | Тема 7 | Тема 8 |
|------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1    | Иванов И.И.  | 1      | 5      | 10     | 15     | 20     | 25     | 2      | 5      |
| 2    | Петров П.П.  | 2      | 6      | 11     | 16     | 21     | 26     | 3      | 6      |
|      |              |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 30   |              |        |        |        |        |        |        |        |        |

Командир рассылает перечень вопросов студентам.

Студенты готовят ответы на вопросы в письменном виде на листах чистой бумаги.

В листах указываются:

1. Название учебной дисциплины «Математическое моделирование процессов ТЭ»
2. ФИО студента
3. Дата и время получения вопросов на диф. зачет
4. Формулировка вопроса по теме №1
5. Формулировка ответа по теме №1

.....

6. Формулировка вопроса по теме №8
7. Формулировка ответа по теме №8
8. Время окончания выполнения задания.
9. Оценка по дисциплине «Управление качеством» за предыдущий семестр.  
Если оценки нет, то указать наличие задолженности.
10. Подпись.

Затем студент фотографирует свои заполненные листы и высылает их на электронную почту своему командиру.

Если студент имеет такую возможность (при наличии в его распоряжении компьютера), то лучше сформировать отправку в виде файла pdf. В противном случае можно выслать фотоснимки.

Командир собирает файлы со всех студентов группы, архивирует и направляет на электронную почту преподавателю.

После проверки преподаватель сообщает студенту по электронной почте оценку. На этом дистанционная фаза диф. зачета заканчивается.

После окончания режима самоизоляции и возобновления обычного режима работы Университета командир собирает у студентов зачетки и приносит преподавателю для простановки результатов сдачи диф. зачета.

Примечание 1: Если студент с оценкой не согласен и хочет более высокую оценку, то сообщает об этом командиру, а тот - преподавателю. Тогда такой студент получает дополнительный вопрос по темам 10-12 из 10-11 глав монографии [1]. Подготовленный ответ студент вновь высылает командиру, а тот - преподавателю. После проверки преподаватель соглашается или не соглашается с выставлением более высокой оценки и сообщает об этом студенту.

Примечание 2. За дополнительную организационную работу командир премируется дополнительным баллом по учебной дисциплине.

## Литература:

1. Воробьев В.Г., Зыль В.П., Кузнецов С.В. Основы теории технической эксплуатации ПНО. М.: Транспорт, 1999.
2. Кузнецов С.В. АНАЛИЗ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АЭСиПНК. Электронная версия. М. МГТУ ГА, 2020.
3. Кузнецов С.В. АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АЭСиПНК. Электронная версия. М. МГТУ ГА, 2020.