

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

\_\_\_\_\_  
(подпись) ФИО  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

|  |  |
|--|--|
| Направление/специальность подготовки       | 24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика                         |
| Специализация/профиль/программа подготовки | Стартовые и технические комплексы ракет и космических аппаратов    |
| Уровень высшего образования                | Бакалавриат  |
| Форма обучения                             | Очная  |
| Факультет                                  | А Ракетно-космической техники                                      |
| Выпускающая кафедра                        | А4 СТАРТОВЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ РАКЕТ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ |
| Кафедра-разработчик рабочей программы      | А4 СТАРТОВЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ РАКЕТ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ |

| КУРС | СЕМЕСТР | ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ<br>(ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ) | ЧАСЫ (по наличию видов занятий) |                    |        |                           |                         |                        |                 |                 |                               | ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО<br>КОНТРОЛЯ |
|------|---------|---|---------------------------------|--------------------|--------|---------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|--------------------------------|
|      |         |   | ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ              | АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ |        |                           |                         | САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА |                 |                 |                               |                                |
|      |         |   |                                 | ВСЕГО              | ЛЕКЦИИ | ЛАБОРАТОРНЫЙ<br>ПРАКТИКУМ | ПРАКТИЧЕСКИЕ<br>ЗАНЯТИЯ | ВСЕГО                  | КУРСОВОЙ ПРОЕКТ | КУРСОВАЯ РАБОТА | ДРУГИЕ ВИДЫ<br>САМОСТ. РАБОТЫ |                                |
| 3    | 5       | 3                                       | 108                             | 68                 | 34     | 0                         | 34                      | 40                     | 0               | 0               | 40                            | диф. зач.                      |

*ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФЕДЕРАЛЬНОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФГОС ВО)**

**24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика**

год набора группы: 2024

Программу составил:

Кафедра А4 СТАРТОВЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ РАКЕТ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ \_\_\_\_\_

Синильщиков Валерий Борисович, к.т.н., доцент, доцент

Программа рассмотрена

на заседании кафедры-разработчика

рабочей программы **А4 СТАРТОВЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ РАКЕТ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

Заведующий кафедрой Долбенков В.Г., к.т.н., снс \_\_\_\_\_

Программа рассмотрена

на заседании выпускающей кафедры

**А4 СТАРТОВЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ РАКЕТ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

Заведующий кафедрой Долбенков В.Г., к.т.н., снс \_\_\_\_\_

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

**Разделы рабочей программы**

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

**Приложения к рабочей программе дисциплины**

- Приложение 1. Аннотация рабочей программы
- Приложение 2. Технологии и формы обучения
- Приложение 3. Фонды оценочных средств

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПСК-3.2 — способность проводить расчетную и экспериментальную отработку динамики и прочности конструкций изделий ракетно-космической техники

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ПСК-3.2**

*знания:*

на уровне представлений: знать типовые постановки задач строительной механики и основные расчетные схемы;

на уровне воспроизведения: знать основные методы решения задач строительной механики для типовых конструкций;

на уровне понимания: знать особенности напряженно-деформированного состояния типовых элементов конструкций при типовых нагрузениях и его зависимость от схемы и основных параметров конструкций;

*умения:*

теоретические: использовать изученные методы для решения прикладных задач;

практические: уметь анализировать результаты расчетов, выявлять основные закономерности процессов и предлагать структурные решения и значения параметров, направленные на повышение эффективности разрабатываемых конструкций;

*навыки:*

проведения прикладных расчетов типовых конструкций;

анализа их результатов.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ** является дисциплиной **части**, формируемой участниками образовательных отношений блока 1, программы подготовки по направлению *24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА, СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ, ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ДИНАМИКА КОНСТРУКЦИЙ, ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАКЕТНЫХ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ, ПОДГОТОВКА К ПРОЦЕДУРЕ ЗАЩИТЫ И ЗАЩИТА ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ, ТЕРМОУПРУГОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-1 — Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности
- ОПК-5 — Способен использовать современные подходы и методы решения профессиональных задач в области авиационной и ракетно-космической техники, включая управление проектами создания новых образцов техники и утилизации устаревших
- ПСК-3.4 — Способен проводить технологическую подготовку производства деталей в машиностроении

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 ч.

#### 3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

| КУРС                | СЕМЕСТР | Наименование разделов и дидактических единиц   | ВСЕГО | Аудиторные занятия в контактной форме |        |                      | Самостоятельная работа студентов | Формируемая компетенция, % |
|---------------------|---------|--|-------|---------------------------------------|--------|----------------------|----------------------------------|----------------------------|
|                     |         |  |       | ВСЕГО                                 | Лекции | Практические занятия |                                  | ПСК-3.2                    |
| 3                   | 5       | <b>Раздел 1. Введение. Задачи и методы строительной механики.</b> 1.1. Типовые элементы конструкций. 1.2. Основные задачи строительной механики и порядок их решения. 1.3. Связь строительной механики и сопротивления материалов. 1.4. Эволюция методов решения задач строительной механики: аналитические методы, численные методы, программные пакеты.  | 6     | 6                                     | 4      | 2                    | 0                                | 3                          |
| 3                   | 5       | <b>Раздел 2. Фермы. Область применения, основные понятия и классификация.</b> 2.1. Определение фермы. Примеры использования ферм в различных областях техники. 2.2. Обоснование применимости строгого определения фермы для сварных стержневых систем 2.3. Сравнение ферм и балок при работе на изгиб. Достоинства и недостатки ферм. 2.4. Оптимальный закон изменения высоты фермы. Классификации ферм по очертанию. 2.5. Требования к решеткам ферм. Типы решеток.   | 10    | 10                                    | 4      | 6                    | 0                                | 10                         |
| 3                   | 5       | <b>Раздел 3. Аналитические методы расчета ферм.</b> 3.1. Критерии статической определимости ферм. Понятие о мгновенно изменяемых системах 3.2. Определение усилий в стержнях ферм. Метод вырезания узлов для плоских и пространственных статически определимых ферм 3.3. Метод Риттера. 3.4. Определение перемещений узлов в фермах. Формула Мора. 3.6. Метод разложения пространственной фермы на плоские. 3.5. Раскрытие статической неопределимости в фермах. Метод сил. 3.6. Учет внеузловых нагрузок.   | 18    | 4                                     | 4      | 0                    | 14                               | 15                         |
| 3                   | 5       | <b>Раздел 4. Элементы проектирования ферм.</b> 4.1. Особенности работы стержней в фермах на сжатие. Нормировка гибкости стержней по СНиП II-23-81 Понятие о расчетной длине в плоскости фермы и из плоскости фермы. Нормировка расчетных длин по СНиП II-23-81. 4.2. Конструкции узлов легких ферм. 4.3. Выбор генеральных размеров ферм. Понятие о строительном подъеме. 4.4. Предварительное растяжение стержней в фермах 4.5. Выбор типа сечения стержней легких и тяжелых ферм. 4.6. Определение размеров сечений стержней при работе на сжатие, растяжение и изгиб.   | 26    | 12                                    | 4      | 8                    | 14                               | 17                         |
| 3                   | 5       | <b>Раздел 5. Использование метода конечных элементов для расчета ферм.</b> 5.1. Понятие о степенях свободы и глобальной матрице жесткости ферм 5.2. Матрица жесткости одиночного стержня. 5.3. Формирование глобальной матрицы жесткости фермы; использование матрицы индексов. 5.4. Определение перемещений узлов и усилий в стержнях.  | 10    | 8                                     | 4      | 4                    | 2                                | 15                         |
| 3                   | 5       | <b>Раздел 6. Теория пластин.</b> 6.1. Определение пластины. Отличие пластины от плиты и мембраны. Основные гипотезы теории Киргифа и их связь с основными гипотезами теории изгиба балок. 6.2. Выражения деформаций через продольные и поперечные перемещения. Обобщенный закон Гука для плоского напряженного состояния при неравномерном прогреве. 6.3. Выражения для внутренних силовых факторов. Уравнения равновесия элемента пластины. 6.4. Вывод дифференциального уравнения изгиба пластины (уравнение Софи-Жермен) и дифференциальных уравнений для продольных перемещений. 6.5. Вывод граничных условий для уравнений изгиба и продольных перемещений: случаи жесткой заделки, шарнирного опирания, свободного края и опирания на упругую балку. 6.6. Табличные решения и их использование.  | 11    | 11                                    | 5      | 6                    | 0                                | 10                         |
| 3                   | 5       | <b>Раздел 7. Теория оболочек.</b> 7.1. Основные понятия и определения теории оболочек. 7.2. Геометрические, физические уравнения и уравнения равновесия. 7.3. Безмоментная и моментная теории тонких оболочек. Краевой эффект. Принимаемые допущения и способы получения разрешающих уравнений. 7.4. Дифференциальное уравнение тонких упругих осесимметричных изотропных оболочек. 7.5. Граничные условия. 7.6. Расчетные зависимости для определения сил, моментов, напряжений и деформаций. 7.7. Особенности конкретных оболочек: сфера, эллипс, тор, цилиндр, конус. Получение для них расчетных зависимостей. Расчет кольцевых тел Способы задания граничных условий. Определение постоянных интегрирования. 7.8. Правила составления уравнений сопряжения оболочек. Жесткие и деформируемые подкрепления оболочек. 7.9. Примеры расчета напряженно-деформированного состояния реальных оболочек. Оценка прочности. | 15    | 11                                    | 5      | 6                    | 4                                | 10                         |
| 3                   | 5       | <b>Раздел 8. Строительная механика конструкций летательных аппаратов.</b> 8.1. Основные элементы конструкций летательных аппаратов. 8.2. Расчетные нагрузки, действующие на элементы конструкции летательных аппаратов при транспортировке, ударных воздействиях, старте, маневрировании, входе в атмосферу и воздействии поражающих средств. 8.3. Прочностные расчеты для головного отсека 8.4. Прочностные расчеты для отсеков, нагруженных внешним давлением для различных силовых схем (гладкая, шпангоутная, стрингерная). 8.5. Расчет баков на прочность. Влияние давления жидкости и ее колебаний.  | 12    | 6                                     | 4      | 2                    | 6                                | 20                         |
| Всего за 5 семестр  |         |  | 108   | 68                                    | 34     | 34                   | 40                               | 100                        |
| Всего по дисциплине |         |  | 108   | 68                                    | 34     | 34                   | 40                               | 100                        |

#### 3.2. Аудиторный практикум

| № п/п              | Номер и наименование раздела дисциплины                                | Тема практического занятия                                  | Объем, ауд. часов |
|--------------------|--|---|-------------------|
| 1                  | Раздел 1. Введение. Задачи и методы строительной механики.             | Введение. Задачи и методы строительной механики.            | 2                 |
| 2                  | Раздел 2. Фермы. Область применения, основные понятия и классификация. | Фермы. Область применения, основные понятия и классификация | 6                 |
| 3                  | Раздел 4. Элементы проектирования ферм.                                | Элементы проектирования ферм.                               | 8                 |
| 4                  | Раздел 5. Использование метода конечных элементов для расчета ферм.    | Использование метода конечных элементов для расчета ферм.   | 4                 |
| 5                  | Раздел 6. Теория пластин.  | Теория пластин  | 6                 |
| 6                  | Раздел 7. Теория оболочек.   | Теория оболочек   | 6                 |
| 7                  | Раздел 8. Строительная механика конструкций летательных аппаратов.     | Строительная механика конструкций летательных аппаратов     | 2                 |
| Всего за 5 семестр |  |   | 34                |

#### 3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

| № п/п | Номер и наименование раздела дисциплины                             | Содержание учебного задания  | Объем, часов |
|-------|---|--|--------------|
| 1     | Раздел 3. Аналитические методы расчета ферм.                        | Повторение ранее изученного материала                                    | 2            |
| 2     |   | Подготовка к контрольной работе  | 2            |
| 3     |   | Выполнение части 1 домашнего задания                                     | 10           |
| 4     | Раздел 4. Элементы проектирования ферм.                             | Повторение ранее изученного материала.                                   | 2            |
| 5     |   | Выполнение части 2 домашнего задания                                     | 12           |
| 6     | Раздел 5. Использование метода конечных элементов для расчета ферм. | Подготовка к лабораторной работе. Повторение ранее изученного материала. | 2            |

|                           |  |   |           |
|---------------------------|--|---|-----------|
| 7                         | Раздел 7. Теория оболочек.   | Самостоятельное изучение правил составления уравнений сопряжения оболочек и их подкреплений | 4         |
| 8                         | Раздел 8. Строительная механика конструкций летательных аппаратов. | Самостоятельное изучение дидактических единиц 8.2-8.5 по учебной литературе                 | 6         |
| <b>Всего за 5 семестр</b> |  |   | <b>40</b> |

#### 4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

| СЕМЕСТР | НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА |   |   |   |              |    |   |    |   |    |    |    |    |    |    |    |                         |
|---------|-----------------|---|---|---|--------------|----|---|----|---|----|----|----|----|----|----|----|-------------------------|
|         | 1               | 2 | 3 | 4 | 5            | 6  | 7 | 8  | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17                      |
| 5       |                 |   |   |   | Контр.Р., ЛР | ДР |   | ЛР |   | ДР |    |    | ЛР | ДЗ |    | ДР | Вопр.Диф.Зач, диф. зач. |

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- Контр.Р. – контрольная работа;
- ЛР – лабораторная работа;
- ДЗ – домашнее задание;
- Вопр.Диф.Зач – вопросы к дифференцированному зачету;
- диф. зач. – дифференцированный зачет.

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- контрольная работа;
- лабораторная работа;
- домашнее задание;
- вопросы к дифференцированному зачету.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. А. В. Дарков, В. А. Шапошников. . Строительная механика. СПб.: Лань, 2010, эл. рес.
2. А. З. Красильников, Н. Р. Туркина. . Анализ прочности элементов конструкций. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2021, эл. рес.
3. А. З. Красильников, Н. Р. Туркина. . Анализ прочности элементов конструкций. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2021, 40 экз.
4. А. И. Мильченко. . Прикладная механика. М.: Академия, 2013, 30 экз.
5. В. И. Погорелов. . Беспилотные летательные аппараты: нагрузки и нагрев. Москва: Юрайт, 2020, эл. рес.
6. В. И. Погорелов. . Прочность и устойчивость тонкостенных конструкций. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015, 85 экз.
7. В. И. Погорелов. . Строительная механика летательных аппаратов. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014, 129 экз.
8. В. И. Погорелов. Беспилотные летательные аппараты: нагрузки и нагрев. Москва: Юрайт, 2019, эл. рес.
9. В. И. Погорелов. . Строительная механика летательных аппаратов. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014, эл. рес.
10. В. Т. Лизин. . Проектирование тонкостенных конструкций. М.: Машиностроение, 2003, эл. рес.
11. В. Т. Лизин. . Проектирование тонкостенных конструкций. Москва: Машиностроение, 2003, эл. рес.
12. Г. В. Васильков, З. В. Буйко. . Строительная механика. Динамика и устойчивость сооружений. Санкт-Петербург: Лань, 2022, эл. рес.
13. Е. Г. Макаров. . Метод конечных элементов в прочностных расчётах. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017, 82 экз.
14. Е. Г. Макаров. . Метод конечных элементов в прочностных расчётах. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015, эл. рес.
15. С. И. Каратушин, И. Н. Титух. . Конструкционная прочность. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2020, 12 экз.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

1. . Строительные нормы и правила. М.: Изд-во ЦИТП Госстроя, 1988, 1 экз.
2. А. Л. Алейнер, А. А. Ананьев, Н. А. Баранов. Общие расчёты, материалы, приводы, металлические конструкции. Л.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1971, 0 экз.

### 5.3. Периодические издания:

не требуются.

### 5.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины, электронные библиотечные системы:

1. <https://urait.ru/> — Образовательная платформа «Юрайт». Для вузов и ссузов..

### Современные профессиональные базы данных:

1. <https://rusneb.ru> – Национальная электронная библиотека (НЭБ);
2. <https://cyberleninka.ru/> - Научная электронная библиотека «Киберленинка»;
- <http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> - Полнотекстовая электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований.

### Информационные справочные системы:

1. Техэксперт – Информационный портал технического регулирования: Нормы, правила, стандарты РФ;
2. [http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=457](http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=457) - БД ГОСТов собственной генерации БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова;
3. <http://www.consultant.ru/>- КонсультантПлюс- информационный портал правовой информации.

### 5.5. Программное обеспечение:

1. Matlab 2015a SP1.

### 5.6. Информационные технологии:

взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС Moodle БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.



## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. Лекционные занятия:**

специализированные требования по оборудованию отсутствуют; аудитория с посадочными местами по количеству студентов; доска.

### **6.2. Практические занятия:**

специализированные требования по оборудованию отсутствуют; аудитория с посадочными местами по количеству студентов; доска.

### **6.3. Прочее:**

1. рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
2. рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.

### **Аннотация рабочей программы**

Дисциплина **СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ** является дисциплиной **части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1**, программы подготовки по направлению *24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика*. Дисциплина реализуется на факультете А Ракетно-космической техники БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой А4 СТАРТОВЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ РАКЕТ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:  
ПСК-3.2 способность проводить расчетную и экспериментальную отработку динамики и прочности конструкций изделий ракетно-космической техники.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с прочностными расчетами и проектированием типовых металлических конструкций: 1) изучение методов расчета ферм, пластин и оболочек на прочность и их деформаций; 2) знакомство с основами проектирования ферм и оболочек; 3) изучение принципов и методов решения задач строительной механики.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- контрольная работа;
- лабораторная работа;
- домашнее задание;
- вопросы к дифференцированному зачету.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 3 з.е., **108 ч**. Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**34 ч.**), практические занятия (**34 ч.**), самостоятельная работа студента (**40 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 ч., из них 68 ч. аудиторных занятий, и 40 ч., отведенных на самостоятельную работу студента.

Рекомендации по распределению учебного времени по видам самостоятельной работы и разделам дисциплины приведены в таблице.

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о текущем, рубежном контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся.

Формы контроля и критерии оценивания приведены в приложении 3 к Рабочей программе.

| Наименование работы   | Рекомендуемая литература  | Трудоемкость, час. |
|---|---|--------------------|
| Раздел 3. Аналитические методы расчета ферм.  |   |                    |
| Повторение ранее изученного материала   | А. И. Мильченко. . Прикладная механика: М.: Академия, 2013 (3)<br>А. В. Дарков, В. А. Шапошников. . Строительная механика: СПб.: Лань, 2010 (3-5) | 2                  |
| Подготовка к контрольной работе   |   | 2                  |
| Выполнение части 1 домашнего задания  |   | 10                 |
| Итого по разделу 3  |   | 14                 |
| Раздел 4. Элементы проектирования ферм.   |   |                    |
| Повторение ранее изученного материала.  | . Строительные нормы и правила: М.: Изд-во ЦИТП Госстроя, 1988 (9)  | 2                  |
| Выполнение части 2 домашнего задания  | С. И. Каратушин, И. Н. Титух. . Конструкционная прочность: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2020 (5)  | 12                 |
| Итого по разделу 4  |   | 14                 |
| Раздел 5. Использование метода конечных элементов для расчета ферм.                         |   |                    |
| Подготовка к лабораторной работе. Повторение ранее изученного материала.                    | Е. Г. Макаров. . Метод конечных элементов в прочностных расчётах: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015 (2-3)                               | 2                  |
|   | Е. Г. Макаров. . Метод конечных элементов в прочностных расчётах: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (2-3)                               |                    |
| Итого по разделу 5  |   | 2                  |
| Раздел 7. Теория оболочек.  |   |                    |
| Самостоятельное изучение правил составления уравнений сопряжения оболочек и их подкреплений | В. Т. Лизин. . Проектирование тонкостенных конструкций: Москва: Машиностроение, 2003 (5,6)  | 4                  |
|   | В. И. Погорелов. . Прочность и устойчивость тонкостенных конструкций: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015 (4,5)                           |                    |
| Итого по разделу 7  |   | 4                  |
| Раздел 8. Строительная механика конструкций летательных аппаратов.                          |   |                    |
| Самостоятельное изучение дидактических единиц 8.2-8.5 по учебной литературе                 | В. И. Погорелов. . Строительная механика летательных аппаратов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (3-5)                                 | 6                  |
|   | В. И. Погорелов. Беспилотные летательные аппараты: нагрузки и нагрев: Москва: Юрайт, 2019 (2-3)   |                    |
|   | В. И. Погорелов. . Беспилотные летательные аппараты: нагрузки и нагрев: Москва: Юрайт, 2020 (2-3)   |                    |
|   | В. И. Погорелов. . Строительная механика летательных аппаратов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (3-5)                                 |                    |
| Итого по разделу 8  |   | 6                  |

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения по данной дисциплине, включают в себя:

- диагностическая работа
- вопросы к дифференцированному зачету;
- домашнее задание;
- контрольная работа;
- лабораторная работа;
- дифференцированный зачет.

### Критерии оценивания

#### Диагностическая работа

Диагностическая работа проводится в форме теста в ЭИОС Moodle:

- при правильном ответе менее чем на 60% вопросов - не аттестация;
- при правильном ответе на 60% вопросов и более - аттестация.

#### Вопросы к дифференцированному зачету

1. Понятие фермы и его применимость для стержневых систем со сварными соединениями стержней
2. Примеры ферм. Названия стержней и основных размеров фермы. Учет внеузловой нагрузки.
3. Сравнение сечений при работе стержней на изгиб. Критерий эффективности
4. Требования к очертанию ферм. Виды очертаний
5. Требования к решеткам ферм. Виды решеток
6. Работа стержней в фермах на сжатие. Гибкость стержня. Коэффициенты приведения длины для стержней разных типов в разных направлениях
7. Требования к сечениям стержней в фермах. Сечения легких ферм
8. Особенности тяжелых ферм. Сечения тяжелых ферм. Пример.
9. Конструкции узлов легких ферм из уголков
10. Общие требования к выбору размеров сечений. Выбор сечения для сжатых и растянутых стержней
11. Строительный подъем. Растяжение сжатых поясов.
12. Метод конечных элементов для расчета ферм. Глобальная и локальная матрицы жесткости.
13. Расчет плоских и пространственных ферм методом конечных элементов
14. Теория пластин. Напряжения, деформации и внутренние силовые факторы
15. Теория пластин. Уравнение Софи-Жермен и его решения для типовых схем
16. Теория оболочек. Геометрические, физические уравнения и уравнения равновесия.
17. Дифференциальное уравнение тонких упругих осесимметричных изотропных оболочек. Граничные условия. Расчетные зависимости для определения сил, моментов, напряжений и деформаций.
18. Основные элементы конструкций летательных аппаратов и расчетные нагрузки на них
19. Прочностные расчеты для основных отсеков летательных аппаратов
20. Прочностные расчеты для топливных баков летательных аппаратов

#### Домашнее задание

Домашнее задание состоит в расчете усилий в стержнях фермы и выборе сечений для ее стержней.

Отчет по домашнему заданию должен представлять рисунок фермы с заданными нагрузками, схемы определения усилий при вырезании узлов или использовании метода Риттера, расчетные формулы и ответы. Усилия в стержнях обязательно выписываются в виде таблицы. Также должны быть представлены таблицы, иллюстрирующие выбор оптимального сечения для указанных групп стержней.

Домашнее задание представляется в бумажном или электронном виде.

Домашнее задание считается зачтенным, если усилия во всех стержнях вычислены с погрешностью не более 0,1% и выбраны оптимальные сечения стержней.

Примеры домашних заданий входят в состав УМК дисциплины и выложены в ЭИОС Moodle БГТУ.

#### Контрольная работа

Контрольная работа представляет собой решение задачи по определению усилий в стержнях фермы (общее число стержней в разных вариантах 25-32).

Задания для контрольной работы входят в состав УМК дисциплины и выложены в ЭИОС Moodle БГТУ «ВОЕНМЕХ».

Контрольная работа считается зачтенной, если верно рассчитаны усилия не менее, чем в 80% стержней.

#### Лабораторная работа

Лабораторные работы представляются на компьютере в пакете Matlab в виде расчетных формул и ответов. Студент допускается к защите, если искомые величины определены правильно с погрешностью не более 1%. Защита проходит в форме ответов на вопросы преподавателя (3 вопроса).

Лабораторная работа считается защищенной при правильных ответах не менее, чем на 2 вопроса.

#### Дифференцированный зачет

Дифференцированный зачет по дисциплине проходит по билетам. В состав билета входит теоретический вопрос из числа приведенных в пункте "Вопросы к дифференцированному зачету" и задача. Студент допускается к дифференцированному зачету при условии защищенных лабораторных работ, успешно написанной контрольной работы и принятого домашнего задания.

Оценка выставляется после собеседования со студентом в соответствии со следующими критериями:

- оценка ЗАЧТЕНО-ОТЛИЧНО – полное раскрытие теоретического вопроса при высоком уровне владения материалом;
- оценка ЗАЧТЕНО-ХОРОШО – полное раскрытие теоретического вопроса при среднем уровне владения материалом;
- оценка ЗАЧТЕНО-УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО – полное раскрытие теоретического вопроса при слабом уровне владения

материалом, либо недостаточно полное раскрытие теоретического вопроса при среднем уровне владения материалом;  
- оценка НЕ ЗАЧТЕНО – в иных случаях.

| КУРС                | СЕМЕСТР | Наименование разделов и дидактических единиц                           | ВСЕГО | Аудиторные занятия в контактной форме |        |                      | Самостоятельная работа студентов | Формируемая компетенция, % |   | НАИМЕНОВАНИЕ<br>ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА |
|---------------------|---------|--|-------|---------------------------------------|--------|----------------------|----------------------------------|----------------------------|---|-------------------------------------|
|                     |         |  |       | ВСЕГО                                 | Лекции | Практические занятия |                                  | ПСК-3.2                    |   |                                     |
| 3                   | 5       | Раздел 1. Введение. Задачи и методы строительной механики.             | 6     | 6                                     | 4      | 2                    | 0                                | 3                          | Вопросы к дифференцированному зачету  |                                     |
| 3                   | 5       | Раздел 2. Фермы. Область применения, основные понятия и классификация. | 10    | 10                                    | 4      | 6                    | 0                                | 10                         | Вопросы к дифференцированному зачету  |                                     |
| 3                   | 5       | Раздел 3. Аналитические методы расчета ферм.                           | 18    | 4                                     | 4      | 0                    | 14                               | 15                         | Домашнее задание, Контрольная работа, Лабораторная работа, Вопросы к дифференцированному зачету |                                     |
| 3                   | 5       | Раздел 4. Элементы проектирования ферм.                                | 26    | 12                                    | 4      | 8                    | 14                               | 17                         | Домашнее задание, Лабораторная работа, Вопросы к дифференцированному зачету                     |                                     |
| 3                   | 5       | Раздел 5. Использование метода конечных элементов для расчета ферм.    | 10    | 8                                     | 4      | 4                    | 2                                | 15                         | Лабораторная работа, Вопросы к дифференцированному зачету                                       |                                     |
| 3                   | 5       | Раздел 6. Теория пластин.  | 11    | 11                                    | 5      | 6                    | 0                                | 10                         | Вопросы к дифференцированному зачету  |                                     |
| 3                   | 5       | Раздел 7. Теория оболочек.   | 15    | 11                                    | 5      | 6                    | 4                                | 10                         | Лабораторная работа, Вопросы к дифференцированному зачету                                       |                                     |
| 3                   | 5       | Раздел 8. Строительная механика конструкций летательных аппаратов.     | 12    | 6                                     | 4      | 2                    | 6                                | 20                         | Вопросы к дифференцированному зачету  |                                     |
| Всего за 5 семестр  |         |  | 108   | 68                                    | 34     | 34                   | 40                               | 100                        |   |                                     |
| Всего по дисциплине |         |  | 108   | 68                                    | 34     | 34                   | 40                               | 100                        |   |                                     |

## Критерии оценивания

### ПСК-3.2

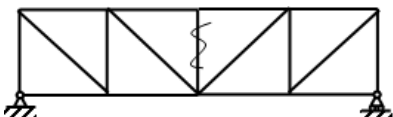
Вопросы открытого типа:

№ 1 Малонагруженные стойки используются в фермах для того, чтобы ...

№ 2 Пролеты этого моста имеют... очертание



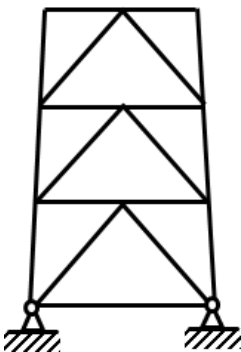
№ 3 Стержень, помеченный волнистой линией, называется...



№ 4 С точки зрения минимизации веса фермы оптимальным в общем случае является ее очертание, пропорциональное...

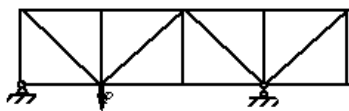
№ 5 В случае, если вся нагрузка, действующая на ферму, состоит в одной сосредоточенной силе, причем ее точка приложения и направление неизменны, оптимальным с точки зрения минимизации веса фермы является ... очертание

№ 6

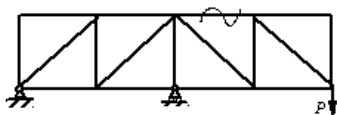


На рисунке показана ферма с ... решеткой

№ 7 В данной ферме ... стержней с нулевыми усилиями



№ 8 При  $P=10$  т усилие в стержне, помеченном волнистой линией равно



№ 9 Для одного узла пространственной фермы при использовании метода вырезания узлов записывается ... независимых уравнения(й)

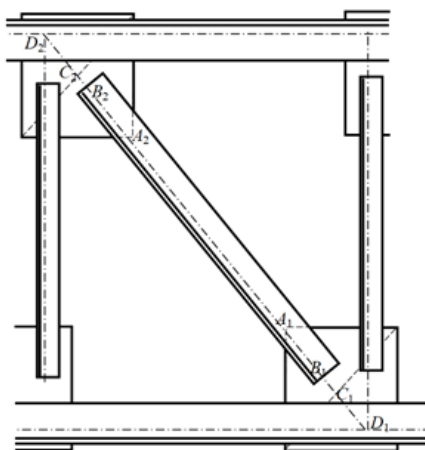
№ 10 Толщина фасонки зависит от...

Вопросы закрытого типа:

№ 1 Укажите основные требования, предъявляемые к конструкции узлов в фермах

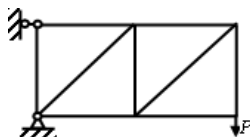
- 1) Равнопрочность стержня и его соединения с узлом;
- 2) Пересечение нейтральных осей стержней в плоскости фермы в одной точке;
- 3) Одинаковые толщины раскосов и стоек;
- 4) Одинаковые толщины пояса и фасонки;
- 5) Пересечение нейтральных осей стержней из плоскости фермы в одной точке;
- 6) Одинаковые толщины раскосов, стоек и поясов;
- 7) Достаточное расстояние между сварными швами, исключающее взаимное влияние полей напряжений.

№ 2 Какой размер следует подставить в выражение для гибкости раскоса в качестве его истинной длины?



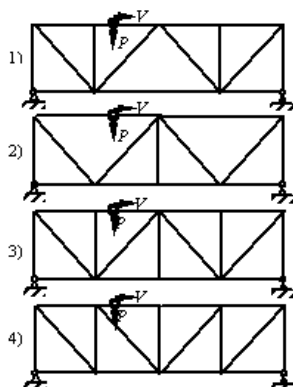
- 1)  $A_1A_2$ ;
- 2)  $B_1B_2$ ;
- 3)  $C_1C_2$ ;
- 4)  $D_1D_2$ ;
- 5) В плоскости фермы –  $B_1B_2$ ; из плоскости фермы –  $D_1D_2$ ;
- 6) В плоскости фермы –  $C_1C_2$ ; из плоскости фермы –  $A_1A_2$ .

№ 3 На рисунке изображена стержневая система со сварным соединением стержней. В ее стержнях изгибные напряжения...



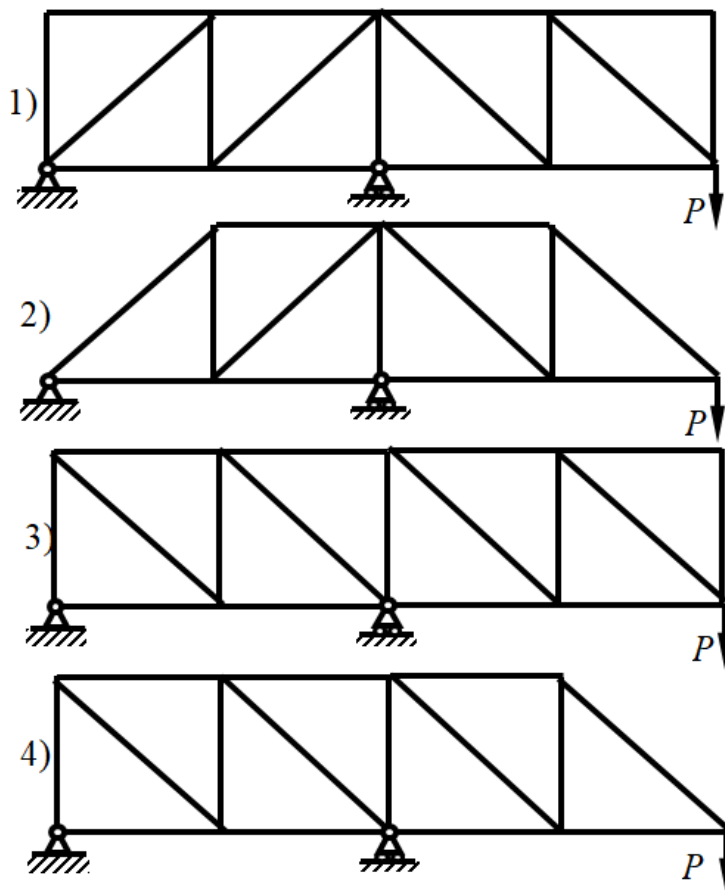
- 1) ...равны нулю;
- 2) ...ненулевые, но по модулю значительно меньше, чем напряжения растяжения-сжатия;
- 3) ...по модулю имеют тот же порядок, что и напряжения растяжения-сжатия;
- 4) ...по модулю значительно больше, чем напряжения растяжения-сжатия.

№ 4 Расчетная нагрузка движется по верхнему поясу. Какой вариант решетки оптимален для таких условий?

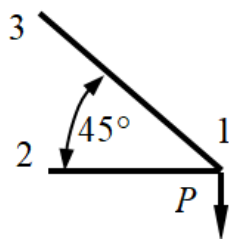


№ 5 Точка и направление приложения расчетной нагрузки неизменны. Какая из ферм имеет оптимальную решетку?





№ 6 Чему равно усилие в стержне 1-2?



- 1)  $P$ ;
- 2)  $-P$ ;
- 3)  $P\sqrt{2}$ ;
- 4)  $-P\sqrt{2}$ ;
- 5)  $P/\sqrt{2}$ ;
- 6)  $-P/\sqrt{2}$ .

№ 7 Как зависит критическая сила при которой стержень теряет устойчивость от длины стержня?

- 1) Не зависит;
- 2) Прямо пропорциональна;
- 3) Обратно пропорциональна;
- 4) Прямо пропорциональна квадрату;
- 5) Обратно пропорциональна квадрату;
- 6) Иное.

№ 8 Перечислите различия между легкими и тяжелыми фермами :

- 1) В легких и тяжелых фермах используются разные материалы;
- 2) В легких и тяжелых фермах используются разные сечения стержней;

- 3) В легких фермах усилия в стержнях решетки не превышают 100 т;
  - 4) В легких фермах усилия в стержнях решетки не превышают 300 т;
  - 5) В легких фермах усилия во всех стержнях не превышают 100 т
  - 6) В легких фермах усилия во всех стержнях не превышают 300 т.
- № 9 Что такое строительный подъем?
- 1) Временная конструкция, которая используется при создании фермы для подъема стержней верхнего пояса;
  - 2) Увеличение высоты фермы, пропорциональное изгибающему моменту;
  - 3) Любое увеличение высоты фермы;
  - 4) Увеличение высоты недеформированной фермы, предназначенное для компенсации ее прогиба от действия собственного веса и расчетной нагрузки;
  - 5) Процесс установки пролетов фермы на опоры.

№ 10

При выборе требуемой сечений сжатых стальных стержней используется следующее ограничение для площади:  $F_i \geq \frac{|N_-|}{\phi[\sigma]}$ , где  $|N_-|$  – модуль сжимающего усилия,  $[\sigma]$  – допускаемые напряжения (с учетом запаса прочности). Как определяется коэффициент  $\phi$ ?

- 1) Исходя из условий работы;
- 2) В зависимости от максимальной гибкости стержня;
- 3) В зависимости от типа стержня;
- 4) В зависимости от типа нагружения;
- 5) В зависимости от жесткости закрепления стержня в узле.