

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого»
Политехнический институт
Кафедра «Строительные конструкции»

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИПТ

А.Н. Чадин

07 12

2017 г.

СПЕЦКУРС ПО СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКЕ

Дисциплина по направлению подготовки

08.04.01 Строительство

Профиль подготовки - Промышленное и гражданское строительство

Рабочая программа

СОГЛАСОВАНО

Начальник учебного отдела



О.Б. Широколобова

07 12 2017 г.

Разработал
профессор КСК



Р.С. Санжаровский

17 10 2017 г.

Принято на заседании кафедры

Протокол № 118 от 18.10. 2017 г.

Заведующий КСК



А.С. Вареник

1 Цели и задачи дисциплины

Целью изучения дисциплины «Спецкурс по строительной механике» является освоение углубленных теоретических знаний и практических навыков в области анализа работы и расчета конструкций и их отдельных элементов, выполненных из различных материалов, на прочность, жесткость и устойчивость при различных воздействиях с использованием современного вычислительного аппарата.

Задачи УМ:

- формирование углубленных знаний анализа работы и расчета конструкций и их отдельных элементов;
- формирование умения выполнять анализ работы и расчет конструкций, а также их отдельных элементов с использованием современного вычислительного аппарата;
- формирование знаний о динамических явлениях и потери устойчивости деформированных элементов зданий и сооружений;
- формирование навыков проектирования надежных зданий и сооружений, повышающих эффективность строительства.

2 Место дисциплины в структуре ОП направления подготовки

Дисциплина «Спецкурс по строительной механике» входит в вариативную часть блока Б1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы (далее - ОП) направления подготовки 08.04.01 – Строительство, квалификация – магистр.

Изучение дисциплины «Спецкурс по строительной механике» базируется на знаниях и умениях полученных магистрантами при изучении модуля обучения бакалавриата «Строительная механика» и на дисциплине «Специальные разделы высшей математики и математическое моделирование».

Базовые знания, полученные при изучении дисциплины «Спецкурс по строительной механике» используются при освоении дисциплин «Проектирование строительных конструкций с использованием программного комплекса SCAD Office», «Оценка технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений», а также при выполнении выпускной квалификационной работы.

3 Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины «Спецкурс по строительной механике» направлен на формирование общепрофессиональных компетенций:

ОПК-4 - способность демонстрировать знания фундаментальных и прикладных дисциплин программы магистратуры.

В результате освоения дисциплины «Спецкурс по строительной механике» магистрант должен знать, уметь и владеть (табл.1):

Таблица 1

Код компетенции	Уровень освоения компетенции	Знать	Уметь	Владеть
ОПК-4	Базовый	- средства и методы для решения поставленных задач в научном исследовании и методы организации и проведения НИР; - о динамических явлениях и потери устойчивости деформированных элементов зданий и сооружений	- разрабатывать теоретические предпосылки выбранного научного направления; планировать и проводить эксперименты, обрабатывать результаты измерений и оценивать погрешности и наблюдения; сопоставлять результаты эксперимента с теоретическими предпосылками и формулировать выводы научного исследования; - выполнять анализ работы и расчет конструкций, а также их отдельных элементов с использованием современного вычислительного аппарата	- способностью модифицировать существующие и разрабатывать новые методы, исходя из задач конкретного исследования - анализом работы и навыками расчета конструкций и их отдельных элементов; - навыками проектирования надежных зданий и сооружений, повышающих эффективность строительства

4 Структура и содержание дисциплины

4.1 Трудоемкость дисциплины

Полная трудоемкость дисциплины «Спецкурс по строительной механике» в зачетных единицах и распределение трудоемкости по видам учебной работы и семестрам в академических часах, а также формы текущего семестрового и итогового контроля представлены для дневной формы обучения в таблице 2.

Таблица 2 – Дневная форма обучения

Учебная работа (УР)	Всего	Распределение по семестрам	Коды формируемых компетенций
		2	
Трудоемкость модуля в зачетных единицах (ЗЕТ)	3	3	ОПК – 4
Распределение трудоемкости по видам УР в академических часах (АЧ):	27	27	
- лекции	9	9	
- практические занятия	18	18	
- лабораторные работы	-	-	
- аудиторная СРС	5	5	
- внеаудиторная СРС	81	81	
в том числе РГР	-	-	
Аттестация: зачет			

Таблица 3 – Заочная форма обучения

Учебная работа (УР)	Всего	Распределение по семестрам	Коды формируемых компетенций
		2	
Трудоемкость модуля в зачетных единицах (ЗЕТ)	3	3	ОПК – 4
Распределение трудоемкости по видам УР в академических часах (АЧ):	12	12	
- лекции	4	4	
- практические занятия	8	8	
- лабораторные работы	-	-	
- аудиторная СРС	-	-	
- внеаудиторная СРС	96	96	
том числе РГР	-	-	
Аттестация: зачет			

4.2 Содержание и структура разделов дисциплины

Темы лекционных занятий дисциплины «Спецкурс по строительной механике» разработаны в соответствии с содержанием дисциплины и приведены ниже:

1. Понятие о потере устойчивости, критической нагрузке и методах расчета на устойчивость.
2. Устойчивость центрально сжатого прямого стержня.
3. Устойчивость плоских рам.
4. Устойчивость арок.
5. Устойчивость тонкостенных стержней.
6. Основы динамики сооружений. Системы с одной степенью свободы.
7. Основы динамики сооружений. Системы со многими степенями свободы.
8. Элементы дифференциальной геометрии поверхности.
9. Безмоментная (мембранная) теория расчета оболочек.
10. Моментная теория расчета оболочек.
11. Расчет пологих оболочек.

12. Расчет пространственных призматических рам.

Аттестация по завершению изучения дисциплины проводится в виде зачета.

Календарный план, наименование разделов дисциплины «Спецкурс по строительной механике» с указанием трудоемкости по видам учебной работы представлены в технологической карте дисциплины (приложение Б).

4.3. Практические занятия

Темы практических занятий соответствуют темам лекционных занятий.

4.4 Расчетно-графическая работа (РГР)

Расчетно-графическая работа РГР состоит из двух практических заданий (ПЗ). Образцы заданий и календарный план выполнения РГР представлен в Приложении Г.

4.5 Самостоятельная работа (СРС)

Внеаудиторная СРС включает самостоятельную проработку теоретических вопросов, подготовку к практическим занятиям, выполнение РГР, подготовку к итоговой аттестации в форме экзамена.

Аудиторная СРС включает в себя работу со специальной литературой и компьютерными программами.

4.6 Организация изучения учебного модуля

Методические рекомендации по организации изучения УМ с учетом использования в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения учебных занятий даются в Приложении А.

5 Контроль и оценка качества освоения дисциплины

Контроль качества освоения студентами дисциплины «Спецкурс по строительной механике» и его составляющих осуществляется непрерывно в течение всего периода обучения с использованием балльно-рейтинговой системы (БРС), являющейся обязательной к использованию всеми структурными подразделениями университета.

Для оценки качества освоения дисциплины используются формы контроля: текущий – регулярно в течение всего семестра; семестровый – по окончании изучения дисциплины.

Оценка качества освоения дисциплины «Спецкурс по строительной механике» осуществляется с использованием фонда оценочных средств, разработанного для данной дисциплины, по всем формам контроля в соответствии с положением от 27.09.2011 № 32 «Об организации учебного процесса по основным образовательным программам высшего профессионального образования».

Содержание видов контроля и их график отражены в технологической карте дисциплины «Спецкурс по строительной механике» (Приложение Б).

6 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины представлено **Картой учебно-методического обеспечения** (Приложение В)

7 Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для осуществления образовательного процесса по дисциплине необходима аудитория, оборудованная мультимедийными средствами для демонстрации лекций-презентаций, презентаций практических заданий, фото- и видеоматериалов.

Доступны электронные издания, содержащиеся в электронно-библиотечной системе НовГУ и Интернет-ресурсах.

**Методические рекомендации по организации изучения дисциплины
«Спецкурс по строительной механике»**

Образовательный процесс по дисциплине «Спецкурс по строительной механике» строится на основе комбинации следующих образовательных технологий: интегральную модель образовательного процесса по дисциплине формируют технологии методологического уровня: модульно-рейтинговое, контекстное обучение, элементы технологии развития критического мышления.

Реализация данной модели предполагает использование следующих технологий стратегического уровня (задающих организационные формы взаимодействия субъектов образовательного процесса), осуществляемых с использованием определенных тактических процедур:

- лекционные (информационная лекция, лекция-презентация);
- практические (работа в малых группах, обсуждение конкретных ситуаций);
- самоуправления (самостоятельная работа студентов) (работа с источниками по темам дисциплины, создание словаря терминов по материалам модуля).

Рекомендуется использование информационных технологий при организации коммуникации со студентами для представления информации, выдачи рекомендаций и консультирования по оперативным вопросам (электронная почта), использование мультимедийных средств при проведении лекционных и практических занятий.

Тема 1. Понятие о потере устойчивости, критической нагрузке и методах расчета на устойчивость

Цель: изучить общие сведения о методах определения устойчивости конструкций

Ключевые понятия

Устойчивость первого рода. Постановка задачи, методы расчета. Устойчивость системы с двумя степенями свободы. Точные и приближенные методы расчета.

Технологии и формы организации: информационная лекция.

Приёмы: рассказ, пример, ответы на вопросы.

Задания для практической и самостоятельной работы

Решение задач раздела 1 по вариантам.

Тема 2. Устойчивость центрально сжатого прямого стержня

Цель: изучить методы определения устойчивости прямого сжатого стержня

Ключевые понятия

Прямой стержень с упругой заделкой с одной стороны и упруго-податливой опорой с другой стороны. Стержень с упругой промежуточной опорой. Стержень в упругой среде. Устойчивость сжатого пояса открытого моста. Задача Ясинского. Стержень переменного сечения. Составные стержни.

Технологии и формы организации: информационная лекция.

Приёмы: рассказ, пример, ответы на вопросы.

Задания для практической и самостоятельной работы

Решение задач раздела 2 по вариантам.

Тема 3. Устойчивость плоских рам

Цель: изучить методы определения устойчивости рам

Ключевые понятия

Постановка задачи. Дифференциальное уравнение изгиба сжато-изогнутого стержня и его интеграл. Расчет рам на устойчивость методом перемещений. Расчет рам на устойчивость методом сил. Выбор основной системы и лишних неизвестных. Примеры деформационного расчета рам.

Технологии и формы организации: информационная лекция.

Приёмы: рассказ, пример, ответы на вопросы.

Задания для практической и самостоятельной работы

Решение задач раздела 3 по вариантам.

Тема 4. Устойчивость арок

Цель: изучить методы определения устойчивости арок

Ключевые понятия

Устойчивость круговой арки постоянного сечения с упруго-защемленными пятнами и радиальной нагрузкой. Устойчивость круглых колец труб под действием равномерной радиальной нагрузки. Устойчивость параболической арки постоянного сечения с равномерно распределенной вертикальной нагрузкой. Устойчивость пологих арок. Устойчивость арки с затяжкой.

Технологии и формы организации: информационная лекция.

Приёмы: рассказ, пример, ответы на вопросы.

Задания для практической и самостоятельной работы

Решение задач раздела 4 по вариантам.

Тема 5. Устойчивость тонкостенных стержней

Цель: изучить методы определения устойчивости тонкостенных стержней

Ключевые понятия

Дифференциальные уравнения устойчивости 2-го рода. Потеря устойчивости 1-го рода. Внецентренное и центральное сжатие. Потеря устойчивости плоской формы изгиба балки. Потеря устойчивости при растяжении.

Технологии и формы организации: информационная лекция.

Приёмы: рассказ, пример, ответы на вопросы.

Задания для практической и самостоятельной работы

Решение задач раздела 5 по вариантам.

Тема 6. Основы динамики сооружений. Системы с одной степенью свободы

Цель: изучить основы динамики сооружений, представляющих собой систему с одной степенью свободы.

Ключевые понятия

Свободные колебания систем с одной степенью свободы. Вынужденные колебания систем с одной степенью свободы под действием вибрационной нагрузки. Затухающие колебания. Действие ударной нагрузки на систему с одной степенью свободы.

Технологии и формы организации: информационная лекция.

Приёмы: рассказ, пример, ответы на вопросы.

Задания для практической и самостоятельной работы

Решение задач раздела 6 по вариантам.

Тема 7. Основы динамики сооружений. Системы со многими степенями свободы

Цель: изучить основы динамики сооружений, представляющих собой систему со многими степенями свободы.

Ключевые понятия

Свободные колебания систем со многими степенями свободы. Свободные колебания систем с бесконечно большим числом степеней свободы. Приближенные методы определения частот. Свободные колебания рам. Вынужденные колебания систем со многими степенями свободы. Колебания балки при подвижной нагрузке. Борьба с колебаниями.

Технологии и формы организации: информационная лекция.

Приёмы: рассказ, пример, ответы на вопросы.

Задания для практической и самостоятельной работы

Решение задач раздела 7 по вариантам.

Тема 8. Элементы дифференциальной геометрии поверхности

Цель: изучить основы дифференциальной геометрии поверхности

Ключевые понятия

Аналитическое выражение поверхности. Линейный элемент поверхности. Кривизна линии на поверхности.

Технологии и формы организации: информационная лекция.

Приёмы: рассказ, пример, ответы на вопросы.

Задания для практической и самостоятельной работы

Решение задач раздела 8 по вариантам.

Тема 9. Безмоментная (мембранная) теория расчета оболочек

Цель: изучить расчет оболочек, основанный на мембранной теории

Ключевые понятия

Основные дифференциальные уравнения. Расчет оболочек вращения. Расчет цилиндрических и канонических оболочек.

Технологии и формы организации: информационная лекция.

Приёмы: рассказ, пример, ответы на вопросы.

Задания для практической и самостоятельной работы

Решение задач раздела 9 по вариантам.

Тема 10. Моментная теория расчета оболочек

Цель: изучить моментную теорию расчета оболочек

Ключевые понятия

Вывод уравнений равновесия. Определение компонентов деформации. Расчет оболочек вращения на осесимметричную нагрузку. Приближенные расчеты оболочек вращения на осесимметричную нагрузку. Расчет цилиндрических оболочек.

Технологии и формы организации: информационная лекция.

Приёмы: рассказ, пример, ответы на вопросы.

Задания для практической и самостоятельной работы

Решение задач раздела 10 по вариантам.

Тема 11. Расчет пологих оболочек

Цель: изучить методологию расчета пологих оболочек.

Ключевые понятия

Вывод основных расчетных уравнений. Частные случаи расчетных уравнений.

Технологии и формы организации: информационная лекция.

Приёмы: рассказ, пример, ответы на вопросы.

Задания для практической и самостоятельной работы

Решение задач раздела 11 по вариантам.

Тема 12. Расчет пространственных призматических рам

Цель: изучить расчет пространственных призматических рам по методу В.З.Власова.

Ключевые понятия

Общие положения метода проф. В.З.Власова. Напряженное и деформированное состояние рамы-полоски. Дифференциальные уравнения равновесия рамы-полоски.

Технологии и формы организации: информационная лекция.

Приёмы: рассказ, пример, ответы на вопросы.

Задания для практической и самостоятельной работы

Решение задач раздела 12 по вариантам.

Приложение Б
(обязательное)

Технологическая карта
учебной дисциплины «Спецкурс по строительной механике»
семестр - 2, ЗЕТ - 3, вид аттестации – зачет, акад. часов - 108, баллов рейтинга - 150

№ и наименование раздела учебного модуля, КП/КР	№ неде- ли сем.	Трудоемкость, ак. час					Форма текущего контроля успеv. (в соотv. с пас- портом ФОС)	Максим. кол-во баллов рейтинга
		Аудиторные занятия				СРС		
		ЛЕК	ПЗ	ЛР	АСРС			
1 Понятие о потере устойчивости, критической нагрузке и мето- дах расчета на устойчивость.		0,5	1			4	ПЗ1	75
2 Устойчивость центрально сжатого прямого стержня.		0,5	1		0,5	5		
3 Устойчивость плоских рам.		0,5	1			4		
4 Устойчивость арок.		0,5	1		0,5	5		
5 Устойчивость тонкостенных стержней.		1	2		0,5	9		
6 Основы динамики сооружений. Системы с одной степенью свободы.		1	2		0,5	9		
7 Основы динамики сооружений. Системы со многими степеня- ми свободы.		1	2		0,5	9	ПЗ2	75
		1	2		0,5	9		
8 Элементы дифференциальной геометрии поверхности.		0,5	1		0,5	4		
9 Безмоментная (мембранная) теория расчета оболочек.		0,5	1		0,5	5		
10 Моментная теория расчета оболочек.		1	2		0,5	9		
11 Расчет пологих оболочек.		1	2		0,5	9		
12 Расчет пространственных призматических рам.								
Зачет							Зачет	
Итого:		9	18	-	5	81		150

В соответствии с Положением «Об организации учебного процесса по образовательным программам высшего образования» перевод баллов рейтинга в традиционную систему оценок осуществляется по шкале:

отлично	– 135-150 баллов
хорошо	– 105-134 балла
удовлетворительно	– 75-104 балла
неудовлетворительно	– менее 75 баллов

Приложение В
(обязательное)

Карта учебно-методического обеспечения
учебной дисциплины «Спецкурс по строительной механике»

Направление 08.04.01 Строительство

Формы обучения очная

Курс 1 Семестр 2

Часов: всего 108, лекций 9, практ. зан. 18 лаб. раб. нет, СРС и виды индивидуальной работы (курсовая работа, КП) 81

Обеспечивающая кафедра строительных конструкций

Таблица 1- Обеспечение учебного модуля учебными изданиями

Библиографическое описание* издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
Учебники и учебные пособия		
1. Анохин Н. Н. Строительная механика в примерах и задачах: учеб. пособие для вузов. Ч. 2: Статистически неопределимые системы / Ассоц.строит.вузов.- 2-е изд., доп. и перераб.- М.: Издательство АСВ, 2007.- 463 с.	20	
2. Строительная механика: учеб. для студентов вузов: в 2 кн. Кн. 1: Статика упругих систем / Под ред. В.Д.Потапова.- М.: Высшая школа, 2007.- 511 с.	5	
Учебно-методические издания		
1. Спецкурс по строительной механике. Учебный модуль по направлению подготовки 08.04.01 – Строительство / Сост. Р.С.Санжаровский; НовГУ.- В.Новгород, 2017. – 16 с.		есть
2. Спецкурс по строительной механике. Лекции по направлению подготовки 08.04.01 – Строительство / Сост. Р.С.Санжаровский; НовГУ.- В.Новгород, 2017.– 100 с.		есть

Таблица 2 – Дополнительная литература

Библиографическое описание* издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
1. Погорелов В.И. Строительная механика тонкостенных конструкций: учеб. пособие для вузов.- СПб.: БХВ-Петербург, 2007.- 518 с.	1	
2. Бабанов В.В. Строительная механика: учеб. для вузов: в 2 т. Т. 2 / В.В. Бабанов.- М.: Академия, 2011.– 285 с.	2	
3. Коробко В.И. Строительная механика: Динамика и устойчивость стержневых систем: Учебник / Под общ. ред. В.И.Коробко.- М.: Издательство АСВ, 2008.– 398 с.	1	

Таблица 2 – Информационное обеспечение учебного модуля

Название программного продукта, интернет-ресурса	Электронный адрес	Примечание
1 Microsoft Windows XP (или более поздняя версия)		
2 Информационный портал по строительной механике	http://mathenglish.ru/mechanics/smllect.htm	
3 Сайт Государственной публичной научно-технической библиотеки России	http://www.gpntb.ru/	
4 Сайт Научной библиотеки ФГБОУ ВПО «НовГУ»	http://www.novsu.ru/department/1114/	

Действительно для учебного года 201__/201__

Зав. кафедрой _____ А.С.Вареник
_____ 2017 г.

СОГЛАСОВАНО

НБ НовГУ:

_____ должность _____ подпись _____ расшифровка

Практические задания по дисциплине «Спецкурс по строительной механике»

1. Общие указания о порядке выполнения заданий

Методические указания разработаны для магистрантов направления подготовки 08.04.01 Строительство (профиль подготовки - Промышленное и гражданское строительство). Задачи составлены таким образом, чтобы магистрант мог приобрести навыки расчета статически неопределимых систем на устойчивость и колебания. По каждому разделу приведены методические указания и контрольные вопросы для самопроверки.

Исходные данные для решения задач выбираются студентами из таблиц вариантов в соответствии с их личным учебным шифром. Личный шифр студента состоит из пяти цифр. Первые три цифры шифра соответствуют начальным буквам фамилии, имени, отчества студента (выбираются по табл. 1.1). Четвертая и пятая цифры шифра соответствуют двум последним цифрам номера зачетной книжки.

Таблица 1.1

Буква	АБ	ВГ	ДЕЖ ЗИ	К	ЛМ	НОР	П	С	ТУФХ	ЦЧШЩ ЭЮЯ
Цифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Перед решением каждой задачи необходимо вычертить заданную схему в соответствии с выбранным масштабом и указать на ней все размеры и нагрузки. Решение задачи должно сопровождаться краткими пояснениями. На эпюрах должны быть проставлены значения всех характерных ординат. Если исходные данные, принятые студентом для решения задач, не соответствуют его личному шифру, то работа возвращается без проверки правильности ее решения.

2. Практические задания

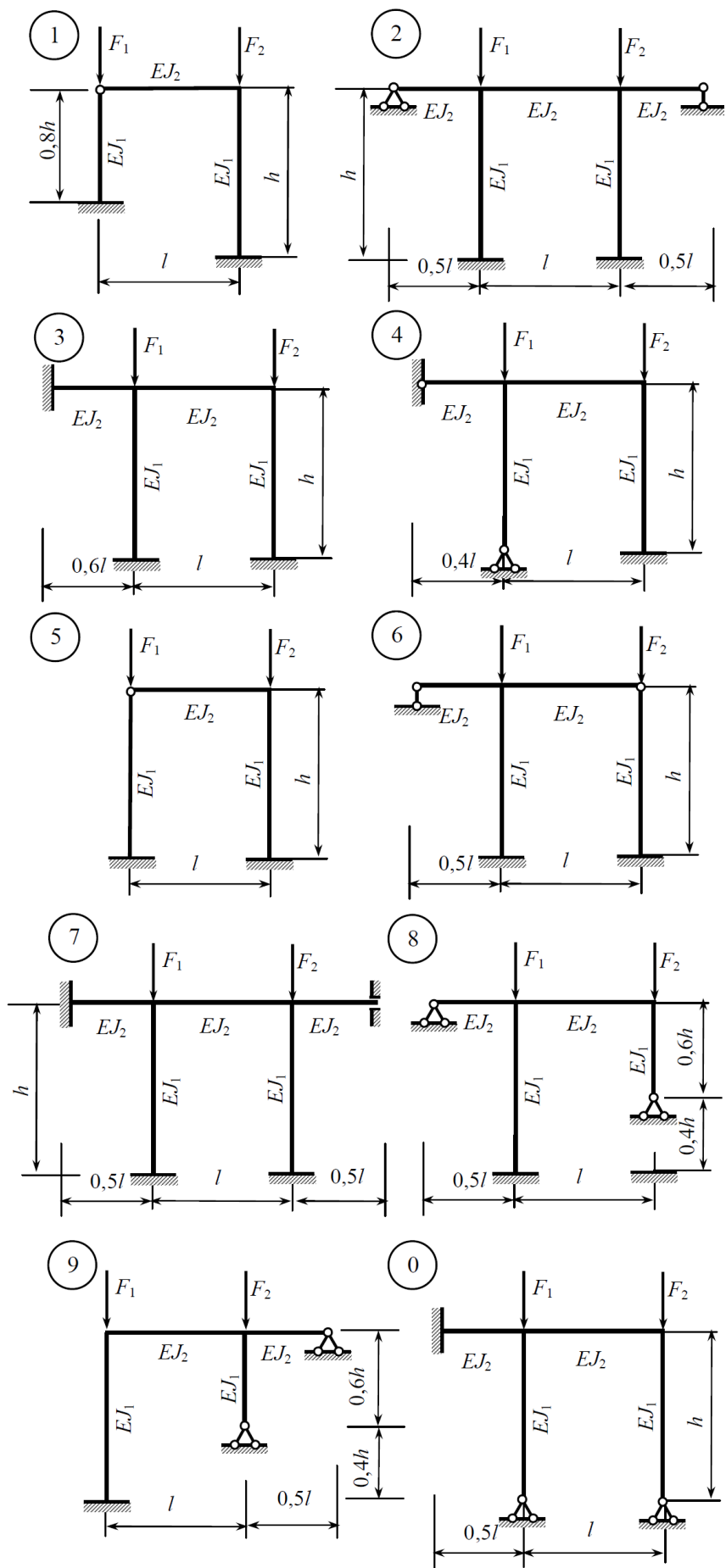
2.1. Расчет рамы на устойчивость

Задание. Для заданной рамы (рис. 2.1, 2.2) требуется определить критическую нагрузку и коэффициенты приведения длины сжатых стержней.

Исходные данные выбираются по табл. 2.1

Таблица 2.1

Первая цифра шифра	Вторая цифра шифра		Третья цифра шифра $\alpha = \frac{F_1}{F_2}$	Четвертая цифра шифра $\frac{EJ_1}{EJ_2}$	Пятая цифра шифра Номер схемы
	$l, \text{ м}$	$h, \text{ м}$			
1	4,0	6,0	1,2	0,9	1
2	5,0	7,0	1,3	0,8	2
3	6,0	8,0	1,4	0,7	3
4	7,0	9,0	1,5	0,6	4
5	8,0	10,0	1,6	0,5	5
6	9,0	11,0	1,7	1,2	6
7	10,0	12,0	1,8	1,4	7
8	11,0	11,0	1,9	1,5	8
9	12,0	10,0	2,0	1,6	9
0	13,0	9,0	2,1	1,8	0



Методические указания

Целью расчета на устойчивость является определение наименьшей критической нагрузки, соответствующей потере устойчивости системы. Под критической нагрузкой понимается такая, при которой в конструкции наряду с первоначальной прямолинейной формой равновесия становится возможной смежная криволинейная форма равновесия.

Порядок решения задачи следующий. Выбирается основная система метода перемещений. Строятся единичные эпюры моментов $M_1, M_2, \dots, M_n$. Построение единичных эпюр для сжатых стоек следует проводить по специальным таблицам, а для ригелей – по обычным таблицам метода перемещений.

Так как внешние силы действуют в узлах и направлены вертикально, то грузовой эпюры в основной системе не будет, и свободные члены канонических уравнений обратятся в нуль.

Вычисляются коэффициенты канонических уравнений:

$$\left. \begin{aligned} r_{11}Z_1 + r_{12}Z_2 + \dots + r_{1n}Z_n &= 0 \\ r_{21}Z_1 + r_{22}Z_2 + \dots + r_{2n}Z_n &= 0 \\ \dots &\dots \dots \dots = 0 \\ r_{n1}Z_1 + r_{n2}Z_2 + \dots + r_{nn}Z_n &= 0 \end{aligned} \right\}$$

Коэффициенты канонических уравнений будут включать в себя некоторые функции $\varphi_k(v_i)$ и $\eta_m(v_j)$ от параметров сжатых стержней:

$$v_i = \ell_i \sqrt{\frac{F_i}{EJ_i}}, \quad v_j = \ell_j \sqrt{\frac{F_j}{EJ_j}},$$

где F_i и F_j – силы, действующие вдоль стоек длиной ℓ_i и ℓ_j ; EJ_i и EJ_j – изгибные жесткости стоек. Так как по заданию силы F_i и F_j связаны между собой соотношением α , то параметры v_i и v_j окажутся связанными соотношением:

$$\frac{v_i}{v_j} = \frac{\ell_i \sqrt{\frac{F_i}{EJ_i}}}{\ell_j \sqrt{\frac{F_j}{EJ_j}}} = \frac{\ell_i}{\ell_j} \sqrt{\alpha \frac{J_j}{J_i}}.$$

Для нахождения $F_{кр}$ составляется уравнение устойчивости:

$$D = \begin{vmatrix} r_{11} & r_{12} \\ r_{21} & r_{22} \end{vmatrix} = r_{11} \cdot r_{22} - r_{12}^2 = 0.$$

Это уравнение решается относительно v подбором в такой последовательности:

- задаются значением v_j ;
- по вычисленному соотношению определяется v_i ;
- по таблицам специальных функций находят значения необходимых коэффициентов (функции $\varphi_k(v_i)$, $\eta_m(v_j)$...);
- найденные значения функций подставляются в уравнение устойчивости.

Если данные значения функций не удовлетворяют уравнению, то задаются другим значением V_j и все вычисления повторяются. Эта операция продолжается до тех пор, пока принятые значения не будут удовлетворять уравнению устойчивости с заданной точностью. Вычисляются значения критических сил в стойках:

$$F_{i,кр} = \frac{v_i^2 EJ_i}{\ell_i^2}, \quad F_{j,кр} = \frac{v_j^2 EJ_j}{\ell_j^2}$$

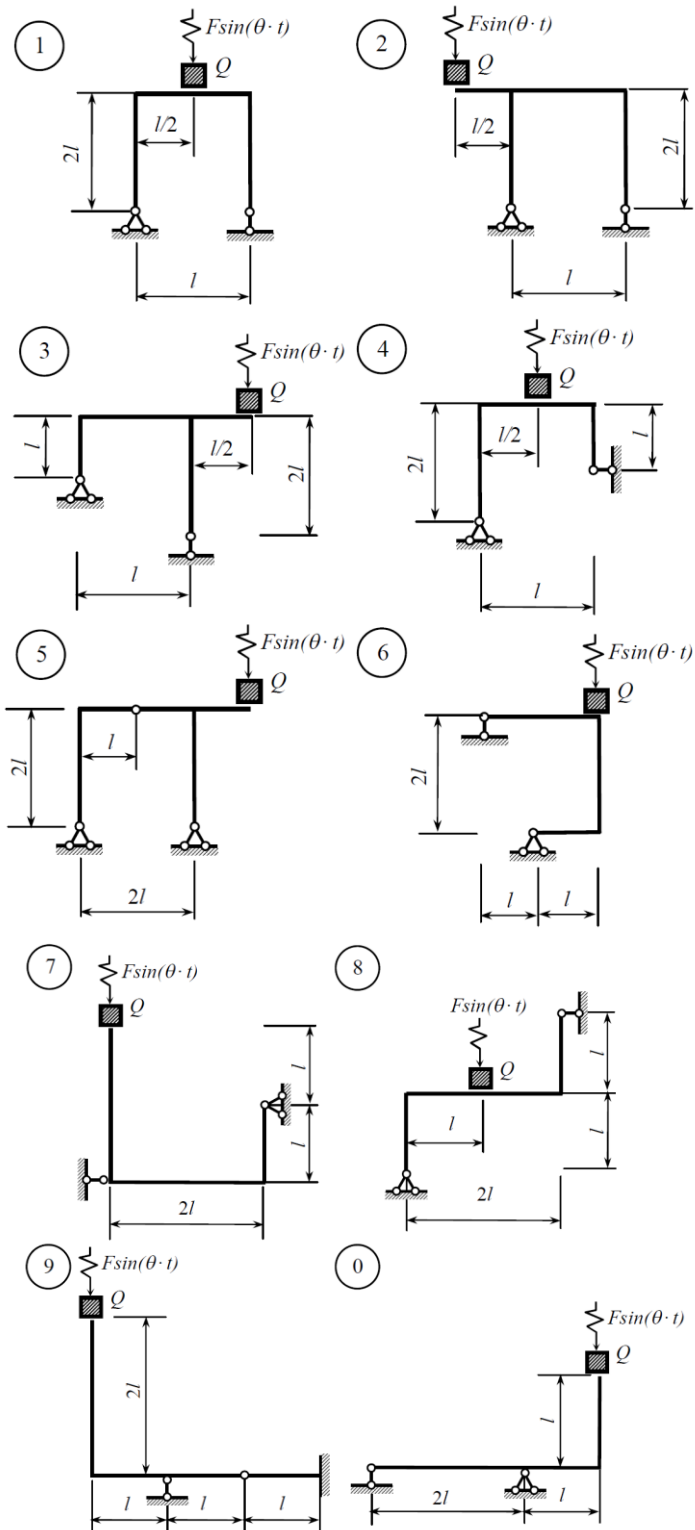
2.2. Динамический расчет плоской системы

Задание. Для плоской рамы (рис. 2.3, 2.4) с размерами и нагрузкой, выбранными по шифру из табл. 2.2, требуется:

- 1) определить круговые частоты свободных вертикальных горизонтальных колебаний, приняв раму как систему с двумя степенями свободы (собственный вес системы не учитывается);
- 2) построить эпюру изгибающих моментов с учетом динамического действия силы F .

Таблица 2.2

Цифра шифра	Первая цифра шифра l , м	Вторая цифра шифра Q , кН	Третья цифра шифра F , кН	Четвертая цифра шифра EJ , кН·м ²	Пятая цифра шифра Номер схемы
1	2,0	4	1,0	20000	1
2	2,2	6	1,5	22000	2
3	2,4	8	2,0	24000	3
4	2,6	10	2,5	26000	4
5	2,8	12	3,0	28000	5
6	3,0	14	2,8	30000	6
7	3,2	11	2,6	27000	7
8	3,4	9	2,4	25000	8
9	3,6	7	2,2	23000	9
0	3,8	5	1,8	21000	0



Вычисляют величины частот собственных колебаний масс системы. Для этого записывают систему однородных алгебраических уравнений:

$$\left. \begin{aligned} (\delta_{11}m_1 - \lambda_j)y_{1j} + \delta_{12}y_{2j} &= 0 \\ \delta_{21}y_{1j} + (\delta_{22}m_2 - \lambda_j)y_{2j} &= 0 \end{aligned} \right\}.$$

Здесь $\lambda_j = \frac{1}{\omega_j^2}$,

где

λ_j — j -е собственное значение;

ω_j — j -я частота собственных колебаний.

Условием существования не нулевого решения системы является равенство нулю определителя, составленного из коэффициентов этой системы уравнений:

$$\begin{vmatrix} (\delta_{11}m_1 - \lambda_j) & \delta_{12} \\ \delta_{21} & (\delta_{22}m_2 - \lambda_j) \end{vmatrix} = 0$$

В предлагаемых заданиях рассматриваются системы с двумя степенями свободы, для которых «вековое» уравнение имеет вид биквадратного.

Строят эпюры моментов M_1, M_2 от действия на раму единичных инерционных сил $I_1 = 1, I_2 = 1$

Вычисляют коэффициенты векового уравнения. Для этого необходимо определить перемещения от единичных сил, приложенных по направлениям возможных колебаний массы

$$\left(m = \frac{Q}{g}\right) \delta_{11}, \delta_{22}, \delta_{12} = \delta_{21}$$

используя ранее изученный метод Мора-Верещагина. Решив биквадратное уравнение относительно λ , с учетом подстановки находят две частоты собственных колебаний ω_1, ω_2 .

Построение эпюры динамических моментов ведут в следующей последовательности. Строят эпюру моментов MF от статического действия на раму амплитудной величины внешней нагрузки.

Записывают уравнения движения масс системы под действием гармонической внеш-

$$\left. \begin{aligned} \delta_{11}^* I_1 + \delta_{12} I_2 + \Delta_{1F} &= 0 \\ \delta_{21} I_1 + \delta_{22}^* I_2 + \Delta_{2F} &= 0 \end{aligned} \right\}$$

Здесь

$$\delta_{ii}^* = \delta_{ii} - \frac{1}{m_i \theta_i^2},$$

где

$\theta = 0,5\omega_1$ – частота изменения внешней нагрузки;

ней нагрузки и сил инерции масс: ω_1 – наименьшая частота свободных колебаний.

Вычисляются коэффициенты системы уравнений.

Определив амплитудные значения инерционных сил I_1 и I_2 из решения системы уравнений, строят эпюру динамических моментов $M_{дин}$ по формуле:

$$M_{дин} = M_F + M_1 I_1 + M_2 I_2$$