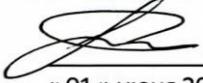




МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДФУ)

ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА

«СОГЛАСОВАНО»
Руководитель ОП
Проектирование зданий и сооружений


В.А. Баранов
« 01 » июня 2015 г.

«УТВЕРЖДАЮ»
Заведующий кафедрой
Гидротехники, теории зданий и сооружений


Н.Я. Цимбельман
« 01 » июня 2015 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Строительная механика

Направление подготовки 08.03.01 Строительство

профиль «Проектирование зданий и сооружений»

Форма подготовки: очная

курс 3, семестр 5,6
лекции 36 час.
практические занятия 54 час.
в том числе с использованием МАО лек. 8 / пр. 12 / час.
всего часов аудиторной нагрузки 90 час.
в том числе с использованием МАО 20 час.
самостоятельная работа 54 час.
в том числе на подготовку к экзамену 27 час.
контрольные работы
курсовая работа 5 семестр
расчетно-графическая работа 6 сем.
зачет 5 семестр
экзамен 6 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 08.03.01 Строительство (уровень бакалавриата), утвержденным приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 12 марта 2015 г. N 201

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры Гидротехники, теории зданий и сооружений, протокол № 9 от « 28 » мая 2015 г.

Заведующий кафедрой к.т.н., доцент Н. Я. Цимбельман

Составитель: к.т.н., доцент Н. М. Мальков

I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
Строительная механика			
Разработали: Мальков Н.М.,	Идентификационный номер: РПУД 40 – 08.03.01 Б1.В.ОД.6 - 2015	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 2 из 89

Протокол от « ____ » _____ 201 г. № _____

Заведующий кафедрой _____ Н. Я. Цимбельман
 (подпись) (и.о. фамилия)

II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:

Протокол от « ____ » _____ 201 г. № _____

Заведующий кафедрой _____ Н. Я. Цимбельман
 (подпись) (и.о. фамилия)

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
Строительная механика			
Разработали: Мальков Н.М.,	Идентификационный номер: РПУД 40 – 08.03.01 Б1.В.ОД.6 - 2015	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 3 из 89

АННОТАЦИЯ

Рабочая программа учебной дисциплины разработана для студентов 3 курса, обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 Строительство по профилю «Проектирование зданий и сооружений» в соответствие с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 08.03.01 Строительство (уровень бакалавриата), утвержденным приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 12 марта 2015 г. N 201

Дисциплина «Строительная механика» входит в Блок 1, в его вариативную часть и является обязательной для изучения дисциплиной.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 144 часа (4 зачётных единицы). Учебным планом предусмотрены лекционные занятия (36 часов), практические занятия (54 часа) и самостоятельная работа студента (54 часов, в том числе 27 часов на экзамен). Дисциплина реализуется на 3 курсе в 5 и 6 семестрах.

«Строительная механика» опирается на уже изученные дисциплины, такие как «Математика», «Физика», «Строительные материалы», «Механика грунтов», «Теоретическая механика» и «Сопроотивление материалов». В свою очередь она является «фундаментом» для изучения основных профессиональных дисциплин, таких как «Металлические конструкции, включая сварку»; «Железобетонные и каменные конструкции»; «Конструкции из дерева и пластмасс» и другие дисциплины.

«Строительная механика» изучает методы расчёта конструкций и курс построен таким образом, что изучение и применение этих методов расчёта идёт от расчёта простых конструкций и их элементов к расчёту сложных конструкций и сооружений с использованием прикладных компьютерных программ.

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ		
Строительная механика		
Разработали: Мальков Н.М.,	Идентификационный номер: РПУД 40 – 08.03.01 Б1.В.ОД.6 - 2015	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений
		Лист 4 из 89

Цель дисциплины – приобретение навыков в области анализа работы и расчета конструкций и их отдельных элементов, выполненных из различных материалов, на прочность, жесткость и устойчивость при различных видах нагрузок и воздействий с использованием современного вычислительного аппарата.

Для этого в курсе «Строительной механике» решаются следующие **задачи**:

1. Изучение методов расчёта усилий в статически определимых стержневых системах при действии постоянной и временной нагрузок.
2. Определение перемещения в стержневых системах.
3. Изучение методов расчётов статически неопределимых систем.

Для успешного изучения дисциплины «Строительная механика» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

- способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и математического (компьютерного) моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ОПК-1);
- способность выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь для их решения соответствующий физико-математический аппарат (ОПК-2);
- умение использовать нормативные правовые документы в профессиональной деятельности (ОПК-8);
- владение теоретическими знаниями и приложениями основных законов механики, теории упругости, гидравлики и аэродинамики, термодинамики и теплообмена в области строительства, способностью применять их для

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
Строительная механика			
Разработали: Мальков Н.М.,	Идентификационный номер: РПУД 40 – 08.03.01 Б1.В.ОД.6 - 2015	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 5 из 89

обоснования проектных решений, применять инженерные методы и вычислительные программы по расчёту строительных конструкций, сооружений, сетей и систем при различных нагрузках и воздействиях (ПК-4);

- способность участвовать в проектировании и изыскании объектов профессиональной деятельности (ПК-6);

- владение технологией, методами доводки и освоения технологических процессов строительного производства, эксплуатации, обслуживания зданий, сооружений, инженерных систем, производства строительных материалов, изделий и конструкций, машин и оборудования (ПК-10)...

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие общепрофессиональные и профессиональные компетенции:

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
(ОПК-1) способностью использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и математического (компьютерного) моделирования, теоретического и экспериментального исследования	знает	методы определения внутренних усилий в элементах сооружений, проверки правильности нахождения усилий
	умеет	использовать основные методы строительной механики для расчёта сооружений на различные воздействия
	владеет	способностью выбрать рациональный метод расчёта сооружения на прочность элементов и устойчивость

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Строительная механика» применяются следующие методы активного и обучения: проблемное обучение, проектирование, консультирование и рейтинговый метод.

I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ

КУРСА

Семестр 5

Раздел 1. Расчет статически определимых систем (18/ час).

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
Строительная механика			
Разработали: Мальков Н.М.,	Идентификационный номер: РПУД 40 – 08.03.01 Б1.В.ОД.6 - 2015	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 6 из 89

Тема 1. Введение (2 часа). Понятие о теории сооружений (строительной механике). Цели и задачи курса. История развития строительной механики. Стержневые сооружения.

Тема 2. Анализ геометрической структуры стержневых систем (2 часа). Понятие диска, кинематической связи, кинематической цепи, степени свободы сооружения. Формула подсчета степени свободы сооружения. Анализ геометрической структуры сооружения. Правила образования жестких дисков.

Тема 3. Фермы (2 часа). Конструктивные особенности и примеры конструкций ферм. Элементы и типы ферм. Определение усилий в стержнях ферм от заданной нагрузки. Пространственные фермы.

Тема 4. Балки (2 часа). Элементы и типы балок. Определение усилий в балках от заданной нагрузки. Расчет шарнирно-консольных балок.

Тема 5. Рамы и арки (4 часа). Особенности работы, элементы и типы рам и арок. Составление оптимального плана расчета статически определимых рам. Определение внутренних усилий в рамах и арках от заданной нагрузки. Расчет трехшарнирных арок на вертикальную нагрузку.

Тема 6. Линии влияния в статически определимых системах (4 часа). Общая теория линий влияния. Линии влияния в однопролетных и многопролетных балках. Загружение линий влияния. Построение объемлющих эпюр в шарнирно-консольных балках. Линии влияния усилий в стержнях ферм.

Тема 7. Нахождение перемещений в статически определимых системах. (2 часа). Обозначения перемещений. Основные теоремы об упругих системах. Формула Максвелла-Мора для определения перемещений в стержневых системах. Техника вычисления интеграла Мора. Порядок нахождения перемещений в статически определимых системах.

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
Строительная механика			
Разработали: Мальков Н.М.,	Идентификационный номер: РПУД 40 – 08.03.01 Б1.В.ОД.6 - 2015	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 7 из 89

Семестр 6

Раздел 2. Расчет статически неопределимых систем (16 час).

Тема 1. Статически неопределимые системы. (2 часа).

Понятие о статически неопределимых системах. Свойства статически неопределимых систем. Основные методы решения задач строительной механики.

Тема 2. Расчет статически неопределимых систем методом сил. (6 часов).

Идея метода сил. Канонические уравнения метода сил. Свойства системы канонических уравнений. Порядок расчета статически неопределимых систем методом сил. Проверки хода расчета статически неопределимых систем методом сил. Задачи расчета сложных статически неопределимых систем методом сил. Расчёт статически неопределимых балок и рам на неподвижную нагрузку, на действие температуры и смещения опор. Вычисление перемещений в статически неопределимых системах.

Тема 3. Расчет статически неопределимых систем методом перемещений (6 часов).

Идея метода перемещений, Основная система метода перемещений. Канонические уравнения метода перемещений. Определение коэффициентов системы канонических уравнений метода перемещений. Проверки хода расчета с.н.с. методом перемещений.

Раздел 3. Использование ЭВМ в расчетах сооружений (2 час).

Тема 1. Матричная форма метода перемещений расчета стержневых систем (матричный метод перемещений) (2 час).

Статическая матрица (уравнения равновесия). Деформационная матрица (связь деформаций и перемещений). Матрица податливости и матрица внутренней жёсткости (закон Гука). Понятие о методе конечных элементов. Применение ЭВМ в расчетах сооружений.

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ		
Строительная механика		
Разработали: Мальков Н.М.,	Идентификационный номер: РПУД 40 – 08.03.01 Б1.В.ОД.6 - 2015	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений
		Лист 8 из 89

II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

Семестр 5

Темы практических занятий (36 часов).

Тема 1. Повторение курсов теоретической механики и сопротивления материалов (4 часа).

Тема 2. Анализ геометрической структуры сооружений (4 часа).

Тема 3. Нахождение опорных реакций и усилий в шарнирах простых систем (4 часа).

Тема 4. Нахождение опорных реакций и усилий в шарнирах сложных систем (4 часа).

Тема 5. Построение эпюр внутренних усилий (4 часа).

Тема 6. Построение эпюр внутренних усилий. Проверки правильности построения эпюр (4 часа).

Тема 7. Контрольная работа на построение эпюр внутренних усилий (4 часа).

Тема 8. Линии влияния в однопролетных и многопролётных балках (4 часа).

Тема 9. Расчет шарнирно-консольных балок на постоянную и временную нагрузки и построение объемлющих эпюр внутренних усилий (4 часа).

Семестр 6

Темы практических занятий (18 часа).

Тема 1. Определение усилий в стержнях ферм. Расчет фермы на различные нагрузки. Определение усилий в стержнях ферм с помощью программы “FASTFRAME “. (2 часа).

Тема 2. Расчет трехшарнирных арок на вертикальную нагрузку. (1 часа).

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
Строительная механика			
Разработали: Мальков Н.М.,	Идентификационный номер: РПУД 40 – 08.03.01 Б1.В.ОД.6 - 2015	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 9 из 89

Тема 3. Нахождение перемещений в статически определимых системах. Построение формы изогнутой оси сооружения (1 часа).

Тема 4. Расчет простейших статически неопределимых систем методом сил. (1 часа).

Тема 5. Расчет неразрезных балок методом сил. (1 часа).

Тема 6. Расчет сложных статически неопределимых систем методом сил. Использование симметрии при расчете сложных статически неопределимых систем (1 часа).

Тема 7. Контрольная работа по методу сил. (1 часа).

Тема 8. Расчет простейших статически неопределимых систем методом перемещений (1 часа).

Тема 9. Расчет сложных статически неопределимых систем методом перемещений. Использование симметрии при расчете сложных статически неопределимых систем методом перемещений (1 часа).

Тема 10. Контрольная работа по расчету статически неопределимых систем методом перемещений (2 часа).

Тема 11. Расчет сложных статически неопределимых систем смешанным методом (2 часа).

Тема 12. Расчет сложных статически неопределимых систем комбинированным методом. (2 часа).

Тема 13. Выбор метода расчета сложной статически неопределимой системы. (2 часа).

III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Строительная механика» представлено в Приложении 1 и включает в себя:

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
Строительная механика			
Разработали: Мальков Н.М.,	Идентификационный номер: РПУД 40 – 08.03.01 Б1.В.ОД.6 - 2015	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 10 из 89

- план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;
- характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению;
- требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;
- критерии оценки выполнения самостоятельной работы

IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

Формы текущего и промежуточного контроля по дисциплине «Строительная механика»

№ п/п	Контролируемые модули/разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства - наименование	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Раздел 1. Расчет статически определимых систем	(ОПК-1)	методы определения внутренних усилий в элементах сооружений, проверки правильности нахождения усилий	Устный опрос (УО) Курсовая работа (ПР-5)	Зачёт Вопросы 1-10
			использовать основные методы строительной механики для расчёта сооружений на различные воздействия	Устный опрос (УО) Курсовая работа (ПР-5)	Зачёт Вопросы 11-20
			способностью выбрать рациональный метод расчёта сооружения на прочность элементов и устойчивость	Устный опрос (УО) Курсовая работа (ПР-5)	Зачёт Вопросы 21-31
2	Раздел 2. Расчет статически неопределимых систем	(ОПК-1)	методы определения внутренних усилий в элементах сооружений, проверки правильности нахождения усилий	Устный опрос (УО) Расчётно-графическая работа (ПР-12)	Экзамен Вопросы 32-38
			использовать основные методы строительной	Устный опрос	Экзамен

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
Строительная механика			
Разработали: Мальков Н.М.,	Идентификационный номер: РПУД 40 – 08.03.01 Б1.В.ОД.6 - 2015	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 11 из 89

			механики для расчёта сооружений на различные воздействия	(УО) Расчётно-графическая работа (ПР-12)	Вопросы 39-42
			способностью выбрать рациональный метод расчёта сооружения на прочность элементов и устойчивость	Устный опрос (УО) Расчётно-графическая работа (ПР-12)	Экзамен Вопросы 43-46
3	Раздел 3. Использование ЭВМ в расчетах сооружений	(ОПК-1)	методы определения внутренних усилий в элементах сооружений, проверки правильности нахождения усилий	Устный опрос (УО) Расчётно-графическая работа (ПР-12)	Экзамен Вопросы 47-52
			использовать основные методы строительной механики для расчёта сооружений на различные воздействия	Устный опрос (УО) Расчётно-графическая работа (ПР-12)	Экзамен Вопросы 52-58
			способностью выбрать рациональный метод расчёта сооружения на прочность элементов и устойчивость	Устный опрос (УО) Расчётно-графическая работа (ПР-12)	Экзамен Вопросы 59-61

V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

1. Кузьмин, Л.Ю. Строительная механика [Электронный ресурс] : учебное пособие / Л.Ю. Кузьмин, В.Н. Сергиенко. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2016. — 296 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/76273>

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
Строительная механика			
Разработали: Мальков Н.М.,	Идентификационный номер: РПУД 40 – 08.03.01 Б1.В.ОД.6 - 2015	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 12 из 89

2. Константинов И.А., Строительная механика [Электронный ресурс] : учебник /И.А. Константинов, В.В. Лалин, И.И. Лалина. - М. : Проспект, 2014. - 432 с. - ISBN 978-5-392-13466-3 - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785392134663.html>

3. Строительная механика: метод конечных элементов : учеб. пособие / С.И. Трушин. — М. : ИНФРА-М, 2017. — 305 с. + Доп. материалы [Электронный ресурс; режим доступа <http://www.znanium.com>]. — (Высшее образование: Бакалавриат). — www.dx.doi.org/10.12737/17500. - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/970907>

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. Научная электронная библиотека НЭБ

<http://elibrary.ru/querybox.asp?scope=newquery>

2. Электронно-библиотечная система издательства «Лань»

<http://e.lanbook.com/>

3. ЭБС «Консультант студента»

<http://www.studentlibrary.ru/>

4. ЭБС znanium.com НИЦ «ИНФРА-М»

<http://znanium.com/>

5. Научная библиотека ДВФУ публичный онлайн каталог

<http://lib.dvfu.ru:8080/search/query?theme=FEFU>

6. Информационная система ЕДИНОЕ ОКНО доступа к образовательным ресурсам

<http://window.edu.ru/resource>

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
Строительная механика			
Разработали: Мальков Н.М.,	Идентификационный номер: РПУД 40 – 08.03.01 Б1.В.ОД.6 - 2015	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 13 из 89

Перечень информационных технологий и программного обеспечения

В процессе изучения дисциплины «Строительная механика» студенты активно используют следующие прикладные программные документы:

AUTOCAD –автоматизированная система проектирования;

SCAD – автоматизированная система для расчёта строительных конструкций.

VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Рекомендации по работе с литературой: в процессе освоения теоретического материала дисциплины необходимо вести конспект лекций и добавлять к лекционному материалу информацию, полученную из рекомендуемой литературы.

При этом, желательно проводить анализ полученной дополнительной информации и информации лекционной, анализировать существенные дополнения, возможно на следующей лекции ставить вопросы, связанные с дополнительными знаниями.

Рекомендации по подготовке к зачёту: на зачётной неделе необходимо иметь полный конспект лекций и проработанные практические занятия. Перечень вопросов к зачёту помещён в фонде оценочных средств (приложение 2), поэтому подготовиться к сдаче зачёта лучше систематически, прослушивая очередную лекцию и поработав на очередном практическом занятии.

Все методические указания с примерами расчёта и чертежи, всё методическое обеспечение для самостоятельной работы и выполнения расчётно-графической и курсовой работы приведены в Приложении 3.

VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
Строительная механика			
Разработали: Мальков Н.М.,	Идентификационный номер: РПУД 40 – 08.03.01 Б1.В.ОД.6 - 2015	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 14 из 89

Студенты пользуются собственными персональными компьютерами и студенты, обучающиеся по направлению Строительство, имеют возможность пользоваться современными компьютерами, где установлены соответствующие пакеты прикладных программ, в аудиториях E708 и E709 Инженерной школы.

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
Строительная механика			
Разработали: Мальков Н.М.,	Идентификационный номер: РПУД 40 – 08.03.01 Б1.В.ОД.6 - 2015	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 15 из 89

ПРИЛОЖЕНИЕ 1



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДВФУ)

ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА)

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ
РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ
по дисциплине «Строительная механика»
Направление подготовки 08.03.01 Строительство
профиль «Проектирование зданий и сооружений»
Форма подготовки очная**

Владивосток

2015

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
Строительная механика			
Разработали: Мальков Н.М.,	Идентификационный номер: РПУД 40 – 08.03.01 Б1.В.ОД.6 - 2015	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 16 из 89

План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

№ п/п	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
1	В течение семестра	Работа с теоретическим материалом	4 час	УО-1
2	В течение семестра	Выполнение расчётно-графического задания	12 час	ПР-12
3	Зачётная неделя	Подготовка к зачёту	8 час	Зачёт
4	В течение семестра	Выполнение курсовой работы	9 час	ПР-5
5	Сессия	Подготовка к экзамену	27 час	Экзамен

Характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению.

Расчетно-графические работы

Цель работы: Закрепление навыков инженерного подхода к расчету стержневых систем, изучение «азбуки» инженерных расчетов в исследовании усилий рабочего состояния, определение расчетных усилий и подбор сечений элементов сооружений.

Часть I «Определение реакций в плоских статически определимых системах».

Для заданных восьми расчетных схем плоских статически определимых стержневых систем необходимо определить опорные реакции, разомкнуть

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ		
Строительная механика		
Разработали: Мальков Н.М.,	Идентификационный номер: РПУД 40 – 08.03.01 Б1.В.ОД.6 - 2015	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений
		Лист 17 из 89

контуры и найти реакции в отброшенных связях, используя схему образования сооружений и типовые опорные схемы расчета реакций.

Часть 2 «Построение эпюр внутренних усилий в плоских статически определимых системах».

Для заданных шести схем из РПР№1 построить эпюры усилий (M , Q , N) и провести их статические проверки.

Часть 3 «Расчет шарнирно-консольной балки».

Рассчитать заданную расчетную схему шарнирно-консольной балки на постоянную нагрузку. Построить линии влияния изгибающих моментов в балке для характерных сечений (в каждом пролете необходимо выбрать не менее пяти сечений, включая концевые). Построить объемлющую эпюру изгибающих моментов в балке с помощью линий влияния, подобрать размеры элементов балки в виде прокатного швеллера или двутавра.

Варианты заданий для расчетно-проектировочных работ приведены в разделе УМКД «Материалы для организации самостоятельной работы студентов»

Курсовая работа «Расчет статически неопределимых сооружений»

Часть 1. «Расчет статически неопределимых систем методом сил»

Для заданных сооружений необходимо:

1. Подсчитать степень статической неопределимости.
2. Выбрать основную систему (статически определимую и геометрически неизменяемую).
3. Составить эквивалентное состояние.
4. Построить эпюры моментов от единичных неизвестных и нагрузки в основной системе **отдельно**.
5. Подсчитать коэффициенты системы канонических уравнений и проверить правильность их нахождения.
6. Решить систему канонических уравнений, найти X_j и проверить их.

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
Строительная механика			
Разработали: Мальков Н.М.,	Идентификационный номер: РПУД 40 – 08.03.01 Б1.В.ОД.6 - 2015	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 18 из 89

7. Построить окончательную эпюру моментов по формуле:

$$M_0 = \sum M_j \cdot X_j + M_p$$

8. Выполнить статическую и кинематическую проверки правильности построения окончательной эпюры моментов.

9. Построить эпюры Q и N .

10. Для фермы рассчитать усилия в FastFrame, расчетные усилия подсчитать по формуле $N_0 = \sum N_j \cdot X_j + N_p$

Часть 2 «Расчет статически неопределимой рамы методом перемещений»

Для заданного сооружения необходимо:

1. Подсчитать степень кинематической неопределимости.
2. Назначить основную систему метода перемещений.
3. Составить эквивалентное состояние.
4. Построить эпюры моментов от единичных неизвестных и нагрузки в основной системе **отдельно**.
5. Подсчитать коэффициенты системы канонических уравнений и проверить правильность их нахождения.
6. Решить систему канонических уравнений, найти Z_j и проверить их.
7. Построить окончательную эпюру моментов по формуле:
$$M_0 = \sum M_j \cdot Z_j + M_p$$
8. Выполнить статическую и кинематическую проверки правильности построения окончательной эпюры моментов.
9. Построить эпюры Q и N .

Требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы.

Работы выполняются в соответствии с Положением об оформлении письменных работ в ДВФУ.

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
Строительная механика			
Разработали: Мальков Н.М.,	Идентификационный номер: РПУД 40 – 08.03.01 Б1.В.ОД.6 - 2015	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 19 из 89

Критерии оценки самостоятельной работы - выполнение расчётно-графической работы:

Оценка	50-60 баллов (неудовлетворительно)	61-75 баллов (удовлетворительно)	76-85 баллов (хорошо)	86-100 баллов (отлично)
Критерии	Содержание критериев			
Выполнение расчётно-графической работы	Работа не выполнена	Работа выполнена не полностью. Выводы не сделаны	Работа выполнена. Не все выводы сделаны и/или обоснованы	Работа выполнена в соответствии с требованиями, аккуратно, все расчёты правильные, графическая часть представлена в полном объёме. Выводы обоснованы
Представление	Работа не представлена	Представленные расчёты не последовательны и не систематизированы	Представленные расчёты выполнены последовательно, систематизированы. Выполнена графическая часть с небольшими недочётами	Работа представлена в виде отчета со всеми пояснениями и чертежами
Оформление	Работа не оформлена	Оформление ручное, частичное использование информационных технологий (Word. ACad)	Оформление с помощью компьютерных технологий, но небрежное	Широко использованы технологии (Word. ACad). Отсутствуют ошибки в представляемой информации

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
Строительная механика			
Разработали: Мальков Н.М.,	Идентификационный номер: РПУД 40 – 08.03.01 Б1.В.ОД.6 - 2015	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 20 из 89

Ответы на вопросы	Нет ответов на вопросы	Только ответы на элементарные вопросы	Ответы на вопросы полные и/или частично полные	Ответы на вопросы полные, с приведением примеров и пояснений
------------------------------	---------------------------	--	--	--

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
Строительная механика			
Разработали: Мальков Н.М.,	Идентификационный номер: РПУД 40 – 08.03.01 Б1.В.ОД.6 - 2015	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 21 из 89

Критерии оценки самостоятельной работы – курсовой работы

Оценка	50-60 баллов (неудовлетворительно)	61-75 баллов (удовлетворительно)	76-85 баллов (хорошо)	86-100 баллов (отлично)
Критерии	Содержание критериев			
Выполнение курсовой работы	Работа не выполнена	Работа выполнена не полностью. Выводы не сделаны	Работа выполнена в соответствии с заданием. Не все выводы сделаны и обоснованы	Работа выполнена в соответствии с требованиями, аккуратно, все расчёты правильные, графическая часть представлена в полном объёме. Выводы обоснованы
Представление	Работа не представлена	Представленные расчёты и чертежи не последовательны и не систематизированы	Представленные расчёты выполнены последовательно, систематизированы. Графическая часть выполнена с помощью графических редакторов с небольшими недочётами	Работа представлена в виде отчета со всеми пояснениями и чертежами. Все расчёты выполнены с помощью компьютерных программ)
Оформление	Работа не оформлена	Оформление ручное, частичное использование информационных технологий (Word, ACAD)	Оформление с помощью компьютерных технологий, но небрежное	Широко использованы технологии (WORD, ACAD, SCAD). Отсутствуют ошибки в представляемой информации

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
Строительная механика			
Разработали: Мальков Н.М.,	Идентификационный номер: РПУД 40 – 08.03.01 Б1.В.ОД.6 - 2015	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 22 из 89

Ответы на вопросы	Нет ответов на вопросы	Только ответы на элементарные вопросы	Ответы на вопросы полные и/или частично полные	Ответы на вопросы полные, хорошо ориентируется в теоретическом материале приведением примеров и пояснений. Использована дополнительная литература
--------------------------	------------------------	---------------------------------------	--	---

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
Строительная механика			
Разработали: Мальков Н.М.,	Идентификационный номер: РПУД 40 – 08.03.01 Б1.В.ОД.6 - 2015	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 23 из 89

Приложение 2



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДВФУ)

ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
по дисциплине «Строительная механика»
Направление подготовки 08.03.01 Строительство
профиль «Проектирование зданий и сооружений»
Форма подготовки (очная/ заочная)

Владивосток
2015

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
Строительная механика			
Разработали: Мальков Н.М.,	Идентификационный номер: РПУД 40 – 08.03.01 Б1.В.ОД.6 - 2015	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 24 из 89

Паспорт
фонда оценочных средств
по дисциплине Строительная механика
(наименование дисциплины, вид практики)

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
(ОПК-1) способностью использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и математического (компьютерного) моделирования, теоретического и экспериментального исследования	знает	методы определения внутренних усилий в элементах сооружений, проверки правильности нахождения усилий
	умеет	использовать основные методы строительной механики для расчёта сооружений на различные воздействия
	владеет	способностью выбрать рациональный метод расчёта сооружения на прочность элементов и устойчивость

Формы текущего и промежуточного контроля по дисциплине
«Строительная механика»

№ п/п	Контролируемые модули/разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства - наименование	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Раздел 1. Расчет статически определимых систем	(ОПК-1)	методы определения внутренних усилий в элементах сооружений, проверки правильности нахождения усилий	Устный опрос (УО) Курсовая работа (ПР-5)	Зачёт Вопросы 1-10
			использовать основные методы строительной механики для расчёта сооружений на различные воздействия	Устный опрос (УО) Курсовая работа (ПР-5)	Зачёт Вопросы 11-20
			способностью выбрать рациональный метод расчёта сооружения на прочность элементов и устойчивость	Устный опрос (УО) Курсовая работа (ПР-5)	Зачёт Вопросы 21-31

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
Строительная механика			
Разработали: Мальков Н.М.,	Идентификационный номер: РПУД 40 – 08.03.01 Б1.В.ОД.6 - 2015	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 25 из 89

2	Раздел 2. Расчет статически неопределимых систем	(ОПК-1)	методы определения внутренних усилий в элементах сооружений, проверки правильности нахождения усилий	Устный опрос (УО) Расчётно-графическая работа (ПР-12)	Экзамен Вопросы 32-38
			использовать основные методы строительной механики для расчёта сооружений на различные воздействия	Устный опрос (УО) Расчётно-графическая работа (ПР-12)	Экзамен Вопросы 39-42
			способностью выбрать рациональный метод расчёта сооружения на прочность элементов и устойчивость	Устный опрос (УО) Расчётно-графическая работа (ПР-12)	Экзамен Вопросы 43-46
3	Раздел 3. Использование ЭВМ в расчетах сооружений	(ОПК-1)	методы определения внутренних усилий в элементах сооружений, проверки правильности нахождения усилий	Устный опрос (УО) Расчётно-графическая работа (ПР-12)	Экзамен Вопросы 47-52
			использовать основные методы строительной механики для расчёта сооружений на различные воздействия	Устный опрос (УО) Расчётно-графическая работа (ПР-12)	Экзамен Вопросы 52-58
			способностью выбрать рациональный метод расчёта сооружения на прочность элементов и устойчивость	Устный опрос (УО) Расчётно-графическая работа (ПР-12)	Экзамен Вопросы 59-61

Шкала оценивания уровня сформированности компетенции

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции		критерии	показатели	баллы
(ОПК-1) способностью использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и математического (компьютерного) моделирования, теоретического и экспериментального исследования	знает (пороговый уровень)	методы определения внутренних усилий в элементах сооружений, проверки правильности нахождения усилий	знание основных законов механики и методов вычисления на их основе внутренних усилий	способность вычислить внутренние усилия в элементах сооружения и проверить правильность расчёта	61-75 баллов
	умеет (продвинутый)	использовать основные методы строительной механики для расчёта сооружений на различные воздействия	умение на основе методов строительной механики производить расчёт сооружения на различные воздействия	способность произвести расчёт сооружения, воспользовавшись методами строительной механики	76-85 баллов
	владеет (высокий)	способностью выбрать рациональный метод расчёта сооружения на прочность элементов и устойчивость	владение навыками выбора оптимального пути расчёта сооружения на прочность и устойчивость	способность произвести выбор наиболее рационального способа расчёта конструкции на прочность и устойчивость	86-100 баллов

Разработали:
Мальков Н.М.,
Аветян Л.В.

Идентификационный номер:

Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники,
теории зданий и сооружений

Лист 27 из 89

Шкала измерения уровня сформированности компетенций

Итоговый балл	1-60	61-75	76-85	86-100
Оценка (пятибалльная шкала)	2 неудовлетворительно	3 удовлетворительно	4 хорошо	5 отлично
Уровень сформированности компетенций	отсутствует	пороговый (базовый)	продвинутый	высокий (креативный)

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 28 из 89

Содержание методических рекомендаций, определяющих процедуры оценивания результатов освоения дисциплины «Строительная механика»

Текущая аттестация студентов. Текущая аттестация студентов по дисциплине «Строительная механика» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация по дисциплине «Строительная механика» проводится в форме контрольных мероприятий (*защиты расчётно-графической работы (ПР-5), курсовой работы (ПР-12) и устного опроса (УО-1)*) по оцениванию фактических результатов обучения студентов и осуществляется ведущим преподавателем.

Объектами оценивания выступают:

- учебная дисциплина (активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость всех видов занятий по аттестуемой дисциплине);
- степень усвоения теоретических знаний;
- уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы;
- результаты самостоятельной работы.

Оценка освоения учебной дисциплины «Строительная механика» является комплексным мероприятием, которое в обязательном порядке учитывается и фиксируется ведущим преподавателем. Такие показатели этой оценки, как посещаемость всех видов занятий и своевременность выполнения курсовой работы или расчётно-графической фиксируется в журнале посещения занятий и в графике выполнения курсовой работы.

Степень усвоения теоретических знаний оценивается такими контрольными мероприятиями как устный опрос и, частично выполнением курсовой и расчётно-графической работы.

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 29 из 89

Уровень овладения практическими навыками и умениями, результаты самостоятельной работы оцениваются работой студента над курсовой работой, его оформлением, представлением к защите и сама защита.

Промежуточная аттестация студентов. Промежуточная аттестация студентов по дисциплине «Строительная механика» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

В соответствии с рабочим учебным планом по направлению подготовки 08.03.01. Строительство, профиль «Проектирование зданий и сооружений» видами промежуточной аттестации студентов в процессе изучения дисциплины «Строительная механика» являются экзамен (6 семестр) и зачёт (5 семестр).

Экзамен проводится в виде устного опроса в форме ответов на вопросы экзаменационных билетов.

Зачёт проводится в виде устного опроса в форме собеседования.

Перечень оценочных средств (ОС) по дисциплине «Строительная механика»

№ п/п	Код ОС	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
1	УО-1	Собеседование	Средство контроля, организованное как специальная беседа преподавателя с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по определенному разделу, теме, проблеме и т.п.	Вопросы по темам/разделам дисциплины
1	ПР-5	Курсовая работа	Продукт самостоятельной работы обучающегося, представляющий	Темы курсовых работ

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 30 из 89

№ п/п	Код ОС	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
			собой краткое изложение в письменном виде полученных результатов теоретического анализа определенной научной (учебно-исследовательской) темы, где автор раскрывает суть исследуемой проблемы, приводит различные точки зрения, а также собственные взгляды на нее.	
2	ПР-12	Расчетно-графическая работа	Средство проверки умений применять полученные знания по заранее определенной методике для решения задач или заданий по модулю или дисциплине в целом.	Комплект заданий для выполнения расчетно-графической работы

1. Предмет и задачи теории сооружений (строительной механики)?
2. Что составляет основу концепции сил в оценке прочности сооружений?
3. Каковы основные практические задачи теории сооружений?
4. Что называется нагрузкой, действующей на сооружение, и какие виды нагрузки Вы знаете?
5. Что называется “внутренними усилиями” в каком-либо сечении стержня, какие виды внутренних усилий Вы знаете?
10. В чем заключается статический способ определения внутренних усилий и на чем он основан?
11. Что называется изгибающим моментом в каком-либо сечении стержня сооружения?
12. Что называется поперечной силой в каком-либо сечении стержня сооружения?

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 31 из 89

13. Что называется продольной силой в каком-либо сечении стержня сооружения?

14. Как по эпюре M построить эпюру Q ?

15. Как по эпюре M и Q построить эпюру N ?

16. Какие проверки правильности построения эпюр внутренних усилий Вы знаете?

17. Каков основной признак классификации сооружений. Приведите классификацию сооружений в соответствии с этим признаком.

18. Какие сооружения с элементами, работающими на центральное растяжение-сжатие, Вы знаете?

19. Какие сооружения, с элементами, работающими на изгиб, Вы знаете?

20. Какие сооружения, с элементами, работающими на изгиб с растяжением-сжатием, Вы знаете?

21. Покажите на примерах историю появления и развития ферм. В каких отраслях строительства эти сооружения нашли наибольшее применение?

22. Покажите на примерах элементы и типы ферм. Какова расчетная модель фермы при определении внутренних усилий в ее стержнях?

23. Какие Вы знаете способы нахождения усилий в стержнях ферм? На чем они основаны? Покажите на примере как использовать тот или иной способ.

24. Покажите на примере как можно проанализировать геометрическую структуру фермы? На чем основан этот анализ?

25. Покажите, как находятся усилия рабочего состояния в фермах?

26. Какие типы балок и плит Вы знаете? Что Вы знаете об истории развития методов расчета этих сооружений?

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 32 из 89

27. Как рассчитываются шарнирно-консольные балки на постоянную и временную нагрузку?

28. Что называют объемлющими эпюрами? Как можно построить такие эпюры в балках?

29. Как можно рассчитать неразрезные балки?

30. Покажите историю появления и развития таких сооружений как рамы и арки.

31. Приведите примеры типов рам и арок и назовите их элементы. Как можно проанализировать геометрическую структуру таких сооружений

32. Покажите на примерах порядок расчета статически определимых рам. Какие принципы используются для построения оптимальной схемы расчета таких сооружений?

33. Покажите, как рассчитываются трехшарнирные арки на вертикальную нагрузку.

34. Что называется линейно-деформируемой системой (сооружением)? Какими свойствами она обладает? Какие другие виды деформируемых систем Вы знаете?

35. Что называется перемещением какой-либо точки (сечения) сооружения? Как можно найти перемещение?

36. По какой формуле находятся перемещения в статически определимых системах? Какие упрощения этой формулы Вы знаете?

37. Что называется единичным, грузовым состоянием системы? Приведите порядок нахождения перемещений в статически определимых системах.

38. Какие способы вычисления интеграла Мора Вы знаете? Покажите на примерах эти способы.

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 33 из 89

39. Какие свойства статически неопределимых систем Вы знаете? Чем такие системы отличаются от статически определимых систем? Как подсчитать степень статической неопределимости сооружения (системы)?

40. Какие основные методы решения задач строительной механики Вы знаете? Чем они отличаются друг от друга?

41. В чем заключается идея метода сил при расчете статически неопределимых систем? Покажите на примере эту идею.

42. Что называется эквивалентным состоянием в расчете статически неопределимых систем? Приведите порядок расчета статически неопределимых систем методом сил.

43. Каков смысл уравнений метода сил? Что называется “системой канонических уравнений” метода сил?

44. Каковы свойства системы канонических уравнений метода сил? Как эти свойства используются в расчете статически неопределимых систем методом сил?

45. Какие Вы знаете проверки хода расчета статически неопределимых систем методом сил?

46. Как можно проверить правильность построения окончательной эпюры моментов при расчете статически неопределимых сооружений методом сил?

47. Какими способами можно построить окончательную эпюру моментов при расчете статически неопределимых сооружений методом сил?

48. Какие трудности возникают при расчете сложных статически неопределимых систем методом сил? Как эти трудности можно обойти?

49. Какие способы упрощения хода расчета сложных статически неопределимых систем методом сил Вы знаете? Как используется симметрия при таких расчетах?

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 34 из 89

50. Что принимается за неизвестные при расчете с.н.с. методом перемещений?
51. Как назначается основная система метода перемещений?
52. Приведите порядок расчета статически неопределимых систем методом перемещений.
53. Какие трудности встречаются при расчете сложных с.н.с. методом сил?
54. Какие приемы образования рациональной основной системы при расчете сложных с.н.с. методом сил Вы знаете?
55. Какие свойства системы канонических уравнений метода перемещений Вы знаете? Как эти свойства используются в расчете статически неопределимых систем методом перемещений?
56. Покажите на примерах идею комбинированного метода.
57. Покажите на примерах идею смешанного метода.
58. В чем заключается идея метода конечных элементов?
59. Что называется линией влияния какого-либо внутреннего усилия?
60. Как строятся линии влияния внутренних усилий в шарнирно-консольных балках?
61. Как строятся линии влияния внутренних усилий в стержнях ферм?

Расчетно-графические работы

Цель работы: Закрепление навыков инженерного подхода к расчету стержневых систем, изучение «азбуки» инженерных расчетов в исследовании усилий рабочего состояния, определение расчетных усилий и подбор сечений элементов сооружений.

Часть I «Определение реакций в плоских статически определимых системах».

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 35 из 89

Для заданных восьми расчетных схем плоских статически определимых стержневых систем необходимо определить опорные реакции, разомкнуть контуры и найти реакции в отброшенных связях, используя схему образования сооружений и типовые опорные схемы расчета реакций.

Часть 2 «Построение эпюр внутренних усилий в плоских статически определимых системах».

Для заданных шести схем из РПР№1 построить эпюры усилий (M , Q , N) и провести их статические проверки.

Часть 3 «Расчет шарнирно-консольной балки».

Рассчитать заданную расчетную схему шарнирно-консольной балки на постоянную нагрузку. Построить линии влияния изгибающих моментов в балке для характерных сечений (в каждом пролете необходимо выбрать не менее пяти сечений, включая концевые). Построить объемлющую эпюру изгибающих моментов в балке с помощью линий влияния, подобрать размеры элементов балки в виде прокатного швеллера или двутавра.

Варианты заданий для расчетно-проектировочных работ приведены в разделе УМКД «Материалы для организации самостоятельной работы студентов».

Курсовая работа «Расчет статически неопределимых сооружений»

Часть 1. «Расчет статически неопределимых систем методом сил»

Для заданных сооружений необходимо:

11. Подсчитать степень статической неопределимости.
12. Выбрать основную систему (статически определимую и геометрически неизменяемую).
13. Составить эквивалентное состояние.
14. Построить эпюры моментов от единичных неизвестных и нагрузки в основной системе **отдельно**.

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 36 из 89

15. Подсчитать коэффициенты системы канонических уравнений и проверить правильность их нахождения.

16. Решить систему канонических уравнений, найти X_j и проверить их.

17. Построить окончательную эпюру моментов по формуле:

$$M_o = \sum M_j \cdot X_j + M_p$$

18. Выполнить статическую и кинематическую проверки правильности построения окончательной эпюры моментов.

19. Построить эпюры Q и N .

20. Для фермы рассчитать усилия в FastFrame, расчетные усилия подсчитать по формуле $N_o = \sum N_j \cdot X_j + N_p$

Часть 2 «Расчет статически неопределимой рамы методом перемещений».

Для заданного сооружения необходимо:

10. Подсчитать степень кинематической неопределимости.

11. Назначить основную систему метода перемещений.

12. Составить эквивалентное состояние.

13. Построить эпюры моментов от единичных неизвестных и нагрузки в основной системе **отдельно**.

14. Подсчитать коэффициенты системы канонических уравнений и проверить правильность их нахождения.

15. Решить систему канонических уравнений, найти Z_j и проверить их.

16. Построить окончательную эпюру моментов по формуле:

$$M_o = \sum M_j \cdot Z_j + M_p$$

17. Выполнить статическую и кинематическую проверки правильности построения окончательной эпюры моментов.

18. Построить эпюры Q и N .

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 37 из 89

Критерии оценки самостоятельной работы - выполнение расчётно-графической работы:

Оценка	50-60 баллов (неудовлетворительно)	61-75 баллов (удовлетворительно)	76-85 баллов (хорошо)	86-100 баллов (отлично)
Критерии	Содержание критериев			
Выполнение расчётно-графической работы	Работа не выполнена	Работа выполнена не полностью. Выводы не сделаны	Работа выполнена. Не все выводы сделаны и/или обоснованы	Работа выполнена в соответствии с требованиями, аккуратно, все расчёты правильные, графическая часть представлена в полном объёме. Выводы обоснованы
Представление	Работа не представлена	Представленные расчёты не последовательны и не систематизированы	Представленные расчёты выполнены последовательно, систематизированы. Выполнена графическая часть с небольшими недочётами	Работа представлена в виде отчета со всеми пояснениями и чертежами
Оформление	Работа не оформлена	Оформление ручное, частичное использование информационных технологий (Word. ACad)	Оформление с помощью компьютерных технологий, но небрежное	Широко использованы технологии (Word. ACad). Отсутствуют ошибки в представляемой информации

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 38 из 89

Ответы на вопросы	Нет ответов на вопросы	Только ответы на элементарные вопросы	Ответы на вопросы полные и/или частично полные	Ответы на вопросы полные, с приведением примеров и пояснений
--------------------------	------------------------	---------------------------------------	--	--

Критерии оценки самостоятельной работы – курсовой работы

Оценка	50-60 баллов (неудовлетворительно)	61-75 баллов (удовлетворительно)	76-85 баллов (хорошо)	86-100 баллов (отлично)
Критерии	Содержание критериев			
Выполнение курсовой работы	Работа не выполнена	Работа выполнена не полностью. Выводы не сделаны	Работа выполнена в соответствии с заданием. Не все выводы сделаны и обоснованы	Работа выполнена в соответствии с требованиями, аккуратно, все расчёты правильные, графическая часть представлена в полном объёме. Выводы обоснованы
Представление	Работа не представлена	Представленные расчёты и чертежи не последовательны и не систематизированы	Представленные расчёты выполнены последовательно, систематизированы. Графическая часть выполнена с помощью графических редакторов с небольшими недочётами	Работа представлена в виде отчета со всеми пояснениями и чертежами. Все расчёты выполнены с помощью компьютерных программ)

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 39 из 89

Оформление	Работа не оформлена	Оформление ручное, частичное использование информационных технологий (Word, ACAD)	Оформление с помощью компьютерных технологий, но небрежное	Широко использованы технологии (WORD, ACAD, SCAD). Отсутствуют ошибки в представляемой информации
Ответы на вопросы	Нет ответов на вопросы	Только ответы на элементарные вопросы	Ответы на вопросы полные и/или частично полные	Ответы на вопросы полные, хорошо ориентируется в теоретическом материале приведением примеров и пояснений. Использована дополнительная литература

**Критерии выставления оценки студенту на зачете /экзамене
по дисциплине «Строительная механика»:**

Баллы (рейтинговой оценки)	Оценка зачета/ экзамена (стандартная)	Требования к сформированным компетенциям
100-86	<i>«зачтено»/ «отлично»</i>	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 40 из 89

Баллы (рейтинговой оценки)	Оценка зачета/ экзамена (стандартная)	Требования к сформированным компетенциям
		разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.
85-76	<i>«зачтено»/ «хорошо»</i>	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.
75-61	<i>«зачтено»/ «удовлетворительно»</i>	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.
60- ниже	<i>«не зачтено»/ «неудовлетворительно»</i>	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 41 из 89

Приложение 3



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего профессионального образования

«Дальневосточный федеральный университет»

(ДФУ)

НАЗВАНИЕ ШКОЛЫ (ФИЛИАЛА)

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по дисциплине «Строительная механика»

Направление подготовки 08.03.01 Строительство

профиль «Проектирование зданий и сооружений»

Форма подготовки очная

Владивосток

2015

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 42 из 89

Н.М. Мальков, Л.В. Аветян

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

Методические указания к выполнению курсовой работы для специальностей 270102, 270104, 270114

**Владивосток
2008**

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 43 из 89

УДК 624.04

Авторы: Мальков Н.М., Аветян Л.В.

Строительная механика. Методические указания к выполнению курсовой работе для специальностей 270102, 270104, 270114. / Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2008. – 42; 24 илл.

Методические указания к выполнению курсовой работы по строительной механике предназначены для студентов специальностей 270102, 270104, 270114.

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 44 из 89

Содержание

1. ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ	26
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ	28
2.1. <i>Определение опорных реакций и усилий в шарнирах .</i>	28
2.2. <i>Построение эпюр внутренних усилий.</i>	34
2.3. <i>Расчет шарнирно-консольных балок</i>	47
2.4. <i>Расчет неразрезных балок</i>	34
2.5. <i>Сравнение результатов расчета шарнирно-консольной и соответствующей ей неразрезной балок</i>	39
2.5. <i>Оформление курсовой работы</i>	39
Приложение. Выдежки из сортамента металлопроката по ГОСТ 8239-89	41
	42

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 45 из 89

1. ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа по строительной механике выполняется в пятом семестре. Название работы: «РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ ИЗ СТЕРЖНЕЙ И ПОДБОР СЕЧЕНИЙ ДЛЯ ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ».

Цель работы: Закрепление навыков инженерного подхода к расчету стержневых систем, изучение «азбуки» инженерных расчетов в исследовании усилий рабочего состояния сооружений.

Курсовая работа состоит из двух частей.

Содержание работы

Часть 1. Нахождение реакций в связях и построение эпюр усилий в простейших плоских стержневых сооружениях

1.1. Определение реактивных усилий в связях.

Для заданных восьми расчетных схем плоских статически определимых стержневых систем необходимо определить опорные реакции, разомкнуть контуры и найти реакции в отброшенных связях, используя схему образования сооружений и типовые опорные схемы расчета реакций.

1.2. Построение эпюр усилий в элементарных типовых схемах.

Для отмеченных преподавателем четырех схем построить эпюры усилий (M , Q , N) и провести их статические проверки.

Часть 2. Расчет плоских стержневых сооружений

2.1. Расчет шарнирно-консольной балки и соответствующей ей неразрезной балки.

Выполнить расчет заданной шарнирно-консольной балки на постоянную нагрузку. Определить внутренние усилия от временной нагрузки, приложенной в каждом пролете и на каждой консоли в отдельности. Построить объемлющую эпюру изгибающих моментов в балке.

Образовать из заданной шарнирно-консольной балки неразрезную балку путем удаления шарниров, выполнить расчет на постоянную и временную нагрузки, с помощью программы «FASTFRAME». Построить объемлющую эпюру моментов.

2.2. Подобрать сечения соответствующих элементов двух балок из прокатных профилей. Сравнить результаты расчетов двух вариантов расчетной схемы балки по величинам внутренних усилий, характеру распределения этих усилий и расходу материала.

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 46 из 89

Таблица 1.

График выполнения работы

№ п/п	Содержание этапа выполнения работы	Неделя, контроль
1	Выдача работы	3
2	<i>Ч. 1. Нахождение реакций в связях и построение эпюр усилий в простейших плоских стержневых сооружениях</i> Определение опорных реакций и усилий в шарнирах для схем №1-3	4
3	Определение опорных реакций и усилий в шарнирах для схем №4-6	5
4	Определение опорных реакций и усилий в шарнирах для схем №7-8	6 - контроль
5	Построение эпюр внутренних усилия для отмеченных схем №1-2	7
6	Построение эпюр внутренних усилия для отмеченных схем №3-4	8
7	Проверка правильности построения эпюр	9 - контроль
8	<i>Ч. 2. Расчет плоских стержневых сооружений</i> Построение поэтажной схемы шарнирно-консольной балки	10
9	Расчет шарнирно-консольной балки на постоянную нагрузку	11
10	Расчет шарнирно- консольной балки на временную нагрузку	12
11	Построение объемлющей эпюры моментов для шарнирно-консольной балки	13
12	Расчет неразрезной балки на постоянную и временную нагрузку с помощью программы «FastFrame»	14
13	Построение объемлющей эпюры моментов для неразрезной балки	15
14	Подбор сечения элементов балок, сравнение результатов расчета шарнирно-консольной балки и неразрезной балки. Выводы по работе	16
15	Сдача работы	17

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 47 из 89

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

2.1. Определение опорных реакций и усилий в шарнирах

При определении опорных реакций и усилий в шарнирах, составляя уравнения статики полезно руководствоваться следующими принципами:

- необходимо стремиться к тому, чтобы в уравнение входило только одно неизвестное и не входили бы ранее найденные неизвестные;

- в уравнение могут входить ранее найденные неизвестные, но они должны быть проверены;

- если не удастся составить уравнение с одним неизвестным, необходимо составить систему из двух уравнений с двумя неизвестными.

Эти принципы можно реализовать, если при нахождении опорных реакций и усилий в шарнирах расчленять сооружение не на отдельные элементы, а на группы или системы элементов, план расчета которых хорошо известен. Можно выделить две системы элементов: систему А и систему Б.

Система А: диск присоединен к земле или другой части сооружения с помощью трех связей (рис.1).

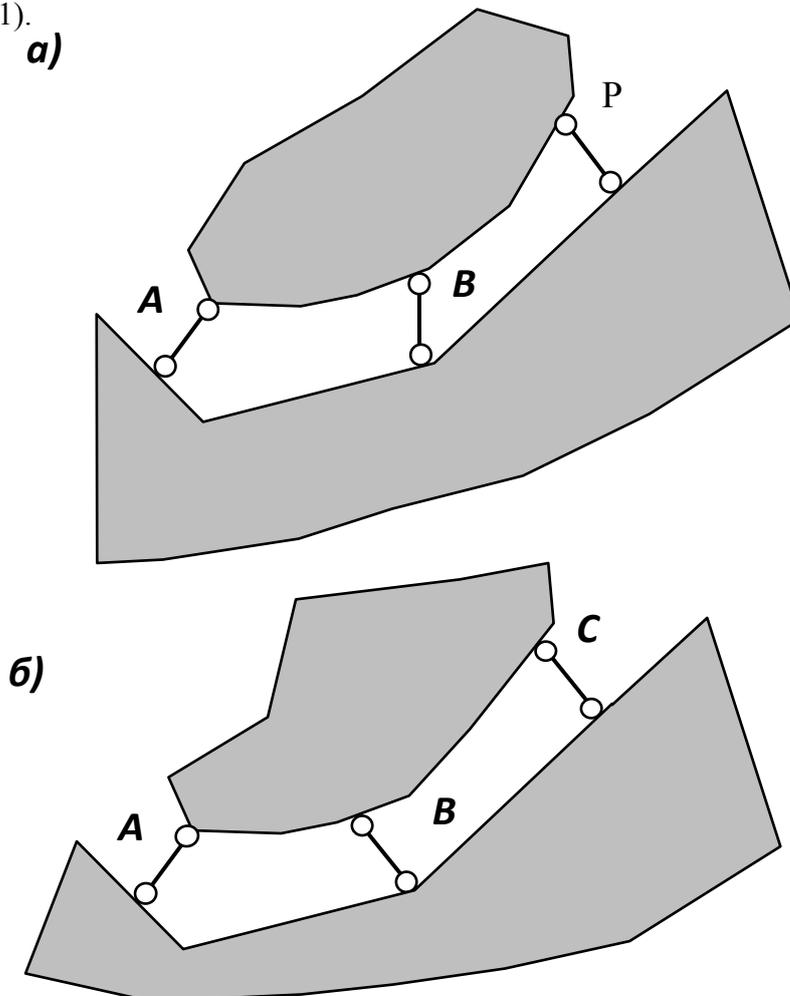


Рис. 1. Система А, возможные варианты: тип 1 - общий случай расположения трех связей, тип 2 – две связи параллельные.

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 48 из 89

План расчета системы А (тип 1): составляются три уравнения моментов относительно точек пересечения линий действия неизвестных усилий в связях (рис 2).

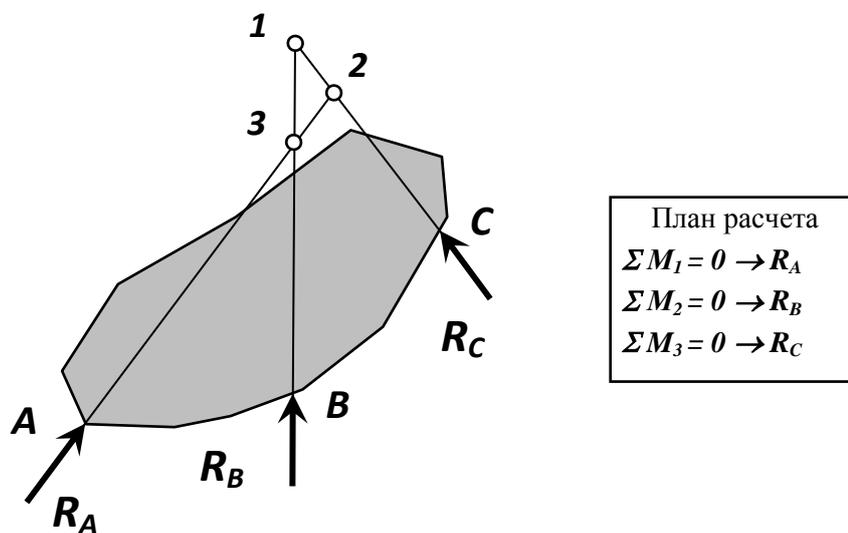


Рис. 2. План расчета системы А (тип 1)

План расчета системы А (тип 2): составляются два уравнения моментов относительно точек пересечения линий действия параллельных неизвестных и одно уравнение проекций сил на ось перпендикулярную к линиям действия параллельных неизвестных усилий в связях (рис 3).

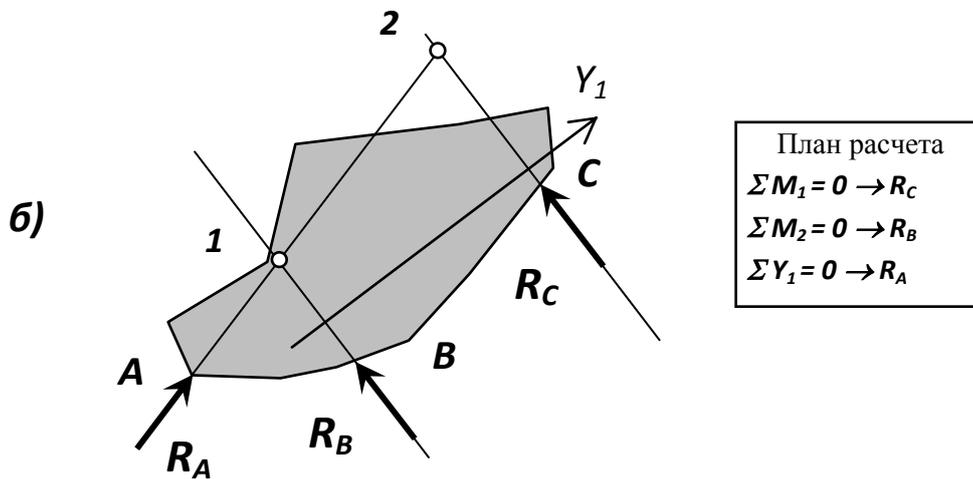


Рис. 3. План расчета системы А (тип 2)

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 49 из 89

Система Б: два диска соединены между собой шарниром и присоединены к земле или другой части сооружения с помощью шарниров или шарнирно-неподвижных опор (рис.4). Могут встретиться два случая системы Б: тип 1 (рис. 4, а) с опорами в одном уровне и тип 2 (рис. 4, б) с опорами в разных уровнях.

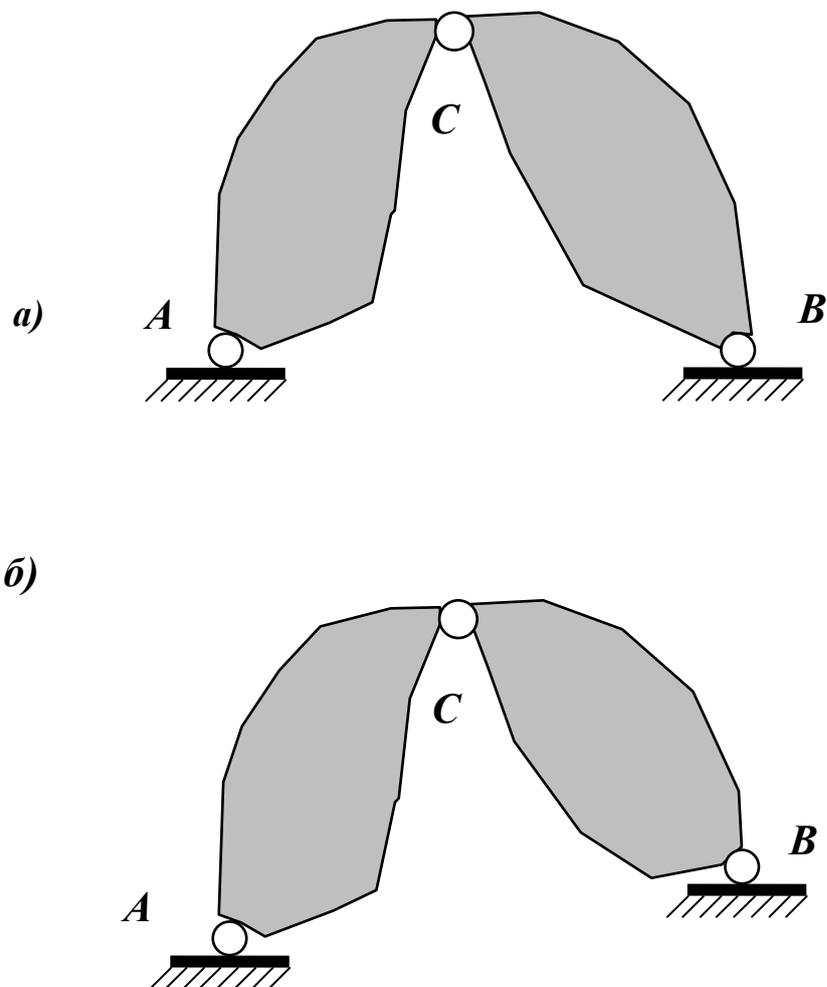


Рис. 4. Система Б, возможные варианты: тип 1 (а) - случай с расположения опор в одном уровне, тип 2 (б) – расположение опор в разных уровнях

План расчета системы Б (тип 1): вначале составляются два уравнения моментов относительно опорных точек и находятся вертикальные составляющие опорных реакций или усилий в шарнирах *A* и *B* с проверкой правильности их нахождения, затем составляются уравнения моментов относительно третьего шарнира *C* для левой и правой части отдельно и находятся горизонтальные составляющие опорных реакций или усилий в шарнирах *A* и *B*, правильность нахождения которых также проверяется (рис. 5). Усилия в третьем шарнире находятся из рассмотрения равновесия левого (*AC*) или правого диска (*BC*), в качестве уравнений равновесия используются уравнения проекций сил на вертикальную и горизонтальную оси (рис. 6).

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 50 из 89

План расчета системы Б (тип 2): вначале составляются два уравнения моментов относительно опорной точки **B** и третьего шарнира **C** для левой части и, решением системы двух уравнений, находятся вертикальная и горизонтальная составляющие опорной реакции или усилия в шарнире **A**.

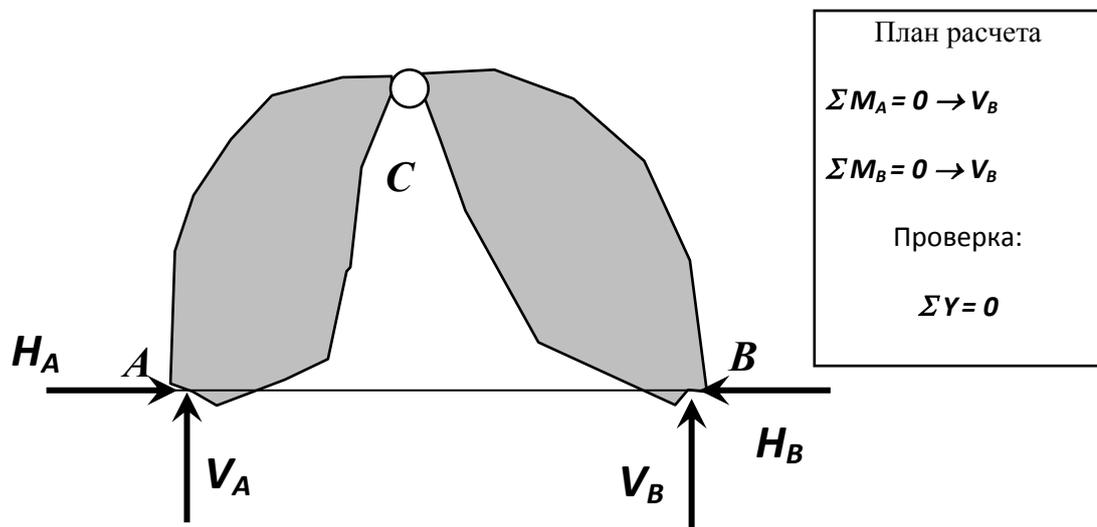


Рис. 5. План расчета системы Б (тип 1)

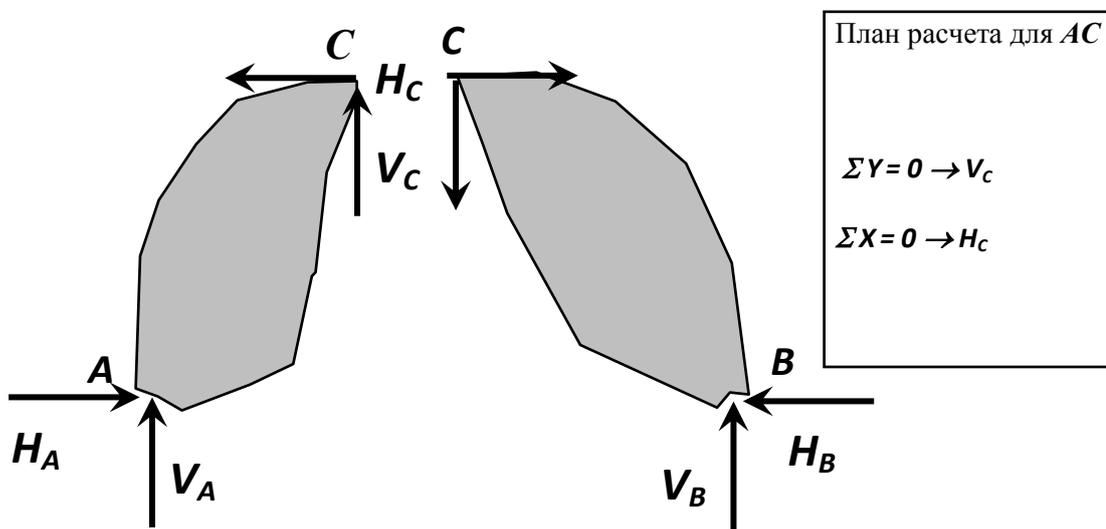


Рис. 6. План нахождения усилий в шарнире C

Затем составляются уравнения моментов относительно опорной точки **A** и третьего шарнира **C** для правой части, решением полученной системы двух уравнений находятся вертикальная и горизонтальная составляющие опорной реакции или усилия в шарнире **B**. Правильность нахождения составляющих опорных реакций проверяется составлением уравнений проекций на координатные оси (рис. 7). Усилия в третьем шарнире **C** находятся

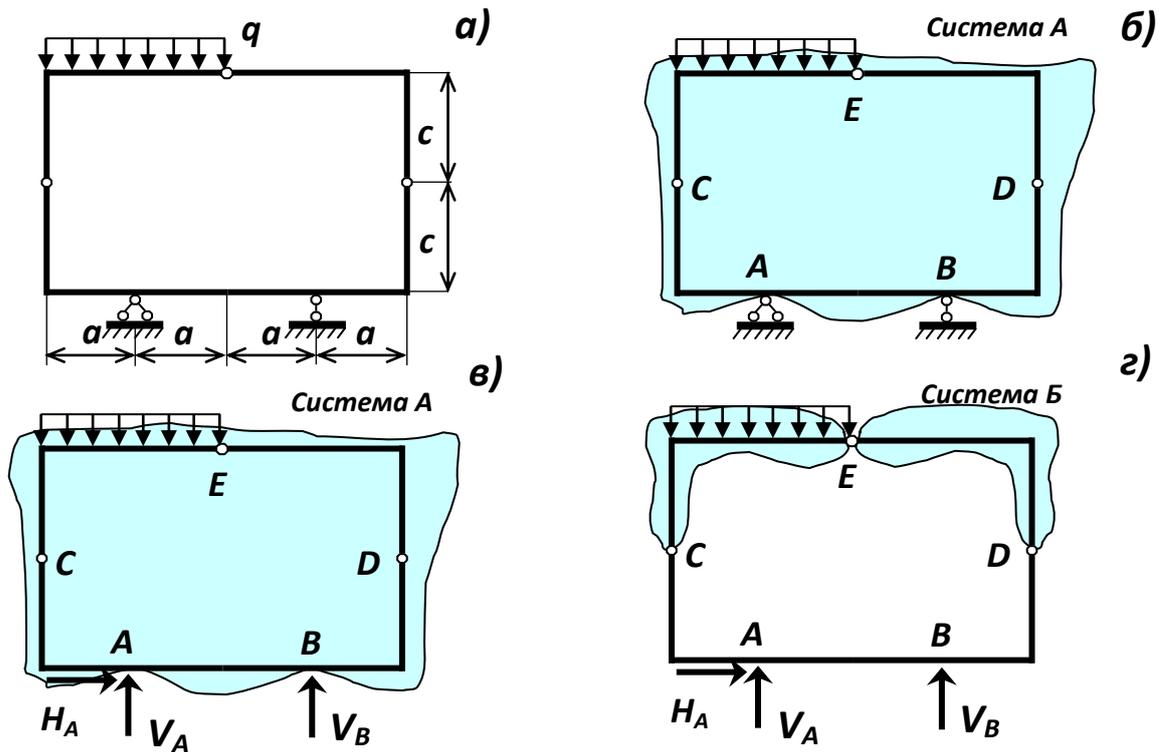


Рис. 8. Расчленение сооружения на простые системы

Применяем план расчета системы А (тип 2): $\Sigma M_B = 0 \rightarrow V_A$ $\Sigma M_A = 0 \rightarrow V_B$
 $\Sigma X = 0 \rightarrow H_A$ $\Sigma Y = 0$ – проверка.

Рассматривая сооружение на рис. 8 в), замечаем, что в нем можно выделить систему Б (см. рис. 8г) с опорами в одном уровне (тип 1). Расчленяя сооружение по шарнирам С и D, применяем план расчета системы Б (тип 1) (см. рис. 9). Усилия в шарнире E найдем, рассматривая равновесие элемента ED.

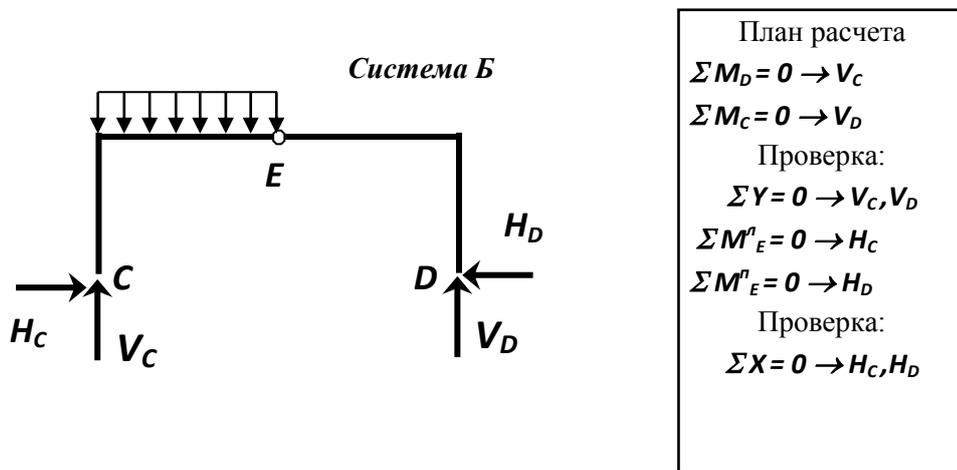


Рис. 9. Определение усилий в шарнирах С и D

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 53 из 89

2.2. Построение эпюр внутренних усилий

Эпюры внутренних усилий следует строить в следующем порядке: первой строится эпюра изгибающих моментов (M), причем эпюра M строится в соответствии с определением изгибающего момента¹. Эпюра M вначале строится на отдельных элементах, а затем эпюры на отдельных элементах соединяются в общую эпюру.

Построение эпюры M . Перед началом построения эпюры M следует убедиться, в том, что элемент, под действием всех приложенных к нему сил, находится в равновесии. При построении эпюры M удобно руководствоваться следующими правилами:

- на каждом из элементов необходимо выделить участки эпюры моментов, в пределах которых закон изменения эпюры будет единым;

- в пределах каждого участка необходимо обозначить цифрами или буквами характерные сечения, в которых необходимо подсчитать ординаты эпюры моментов (по правилам соответствия эпюры моментов внешней нагрузке на участке стержня, свободном от нагрузки таких сечений должно быть два – начало и конец стержня, а на участке с распределенной нагрузкой сечений должно быть три – начало, середина и конец участка);

- начинать построение эпюр следует со свободного конца стержня и двигаться в узел;

- если на элементе больше одного узла, то в каждом из узлов ординаты эпюры моментов следует подсчитывать со стороны каждого из стержней, сходящихся в узле;

- после построения эпюры моментов на элементе необходимо вырезать каждый из жестких узлов и проверить его равновесие по моментам.

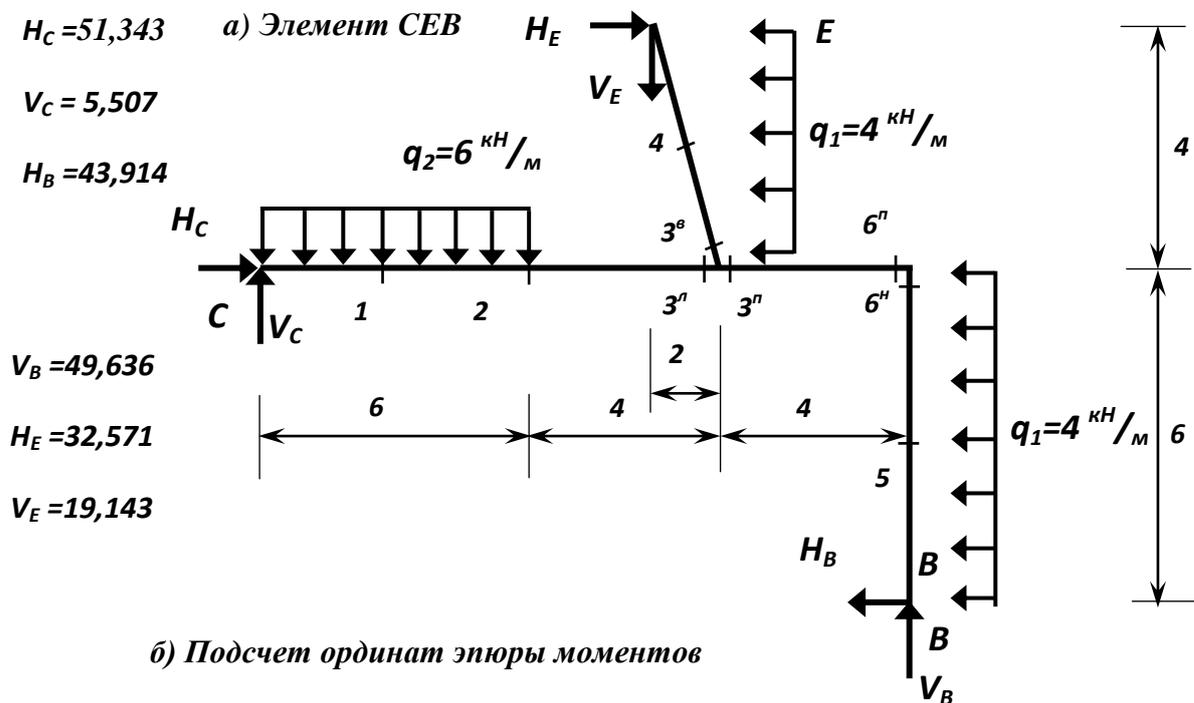
Ординаты эпюры моментов откладываются со стороны растянутых волокон.

Пример построения эпюры моментов на отдельном элементе показан на рис. 10 и 11.

Для определения растянутых волокон на стержне необходимо поставить заделку в сечение, где определяются растянутые волокна, и приложить к получившейся консольной балке любую силу, которая создает момент того знака, который получился в результате подсчета изгибающего момента в рассматриваемом сечении. Рекомендуется выбирать ту силу, которая перпендикулярна к оси стержня, в этом случае можно весьма просто построить изогнутую ось стержня. По изогнутой оси легко определяются растянутые волокна, они находятся с выпуклой стороны изогнутой оси. Как образуются упомянутые выше консольные балки, а также формы изогнутых осей этих балок для сечений элемента **СВЕ** показано на рис. 11 а).

¹ Изгибающим моментом (M) в каком либо сечении стержня называется внутреннее усилие, численно равное алгебраической сумме статических моментов всех сил, взятых по одну сторону от сечения, относительно центра тяжести этого сечения.

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 54 из 89



б) Подсчет ординат эпюры моментов

Участок С-2: $M_C = 0$; $M_1 = V_C \cdot 3 - q_2 \cdot 3 \cdot 1,5 = 5,507 \cdot 3 - 6 \cdot 3 \cdot 1,5 = -10,48 \text{ кН/м}$;

$$M_2 = V_C \cdot 6 - q_2 \cdot 6 \cdot 3 = 5,507 \cdot 6 - 6 \cdot 6 \cdot 3 = -74,96 \text{ кН/м} ;$$

Участок 2-3: $M_2 = -74,96$; $M_{3n} = V_C \cdot 10 - q_2 \cdot 6 \cdot 7 = 5,507 \cdot 10 - 6 \cdot 6 \cdot 7 = -196,93 \text{ кН/м}$;

Участок Е-3: $M_E = 0$; $M_4 = H_E \cdot 2 - V_E \cdot 1 - q_1 \cdot 2 \cdot 1 = 32,571 \cdot 2 - 19,143 \cdot 1 - 4 \cdot 2 \cdot 1 = 38 \text{ кН/м}$;

$$M_{3в} = H_E \cdot 4 - V_E \cdot 2 - q_1 \cdot 4 \cdot 2 = 32,571 \cdot 4 - 19,143 \cdot 2 - 4 \cdot 4 \cdot 2 = 60 \text{ кН/м} ;$$

Участок 3-6: $M_{3n} = H_B \cdot 6 - V_B \cdot 4 - q_1 \cdot 6 \cdot 3 = 43,914 \cdot 6 - 49,636 \cdot 4 - 4 \cdot 6 \cdot 3 = -136,94 \text{ кН/м}$;

$$M_{6n} = V_C \cdot 14 - q_2 \cdot 6 \cdot 11 + H_E \cdot 4 - V_E \cdot 6 - q_1 \cdot 4 \cdot 2 = 5,507 \cdot 14 - 6 \cdot 6 \cdot 11 + 32,571 \cdot 4 - 19,143 \cdot 6 - 4 \cdot 4 \cdot 2 = -335,48 \text{ кН/м} ;$$

Участок В-6: $M_5 = H_B \cdot 3 + q_1 \cdot 3 \cdot 1,5 = 43,914 \cdot 3 + 4 \cdot 3 \cdot 1,5 = 149,74 \text{ кН/м}$;

$$M_{6н} = H_B \cdot 6 + q_1 \cdot 6 \cdot 3 = 43,914 \cdot 6 + 4 \cdot 6 \cdot 3 = 335,48 \text{ кН/м} .$$

Рис. 10. Подсчет ординат эпюры моментов для отдельного элемента

Как проверяется равновесие узлов для построенной эпюры моментов показано на рис. 11 в). Здесь же показано и правило нахождения направления момента в рассматриваемом сечении: необходимо поставить карандаш на эпюру моментов и обогнуть сечение по кратчайшему пути. Направление движения карандаша и будет направлением изгибающего момента в рассматриваемом сечении.

После проверки равновесия узлов на эпюрах элемента, необходимо еще проверить соответствие построенной эпюры моментов внешней нагрузки. Напомним правила соответствия эпюры M внешней нагрузке:

- на участках, свободных от нагрузки, эпюра M представляет собой прямую линию;

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 55 из 89

- на участках с распределенной нагрузкой эпюра M - кривая линия, обращенная выпуклостью в сторону действия нагрузки;

- в сечении, где приложена сосредоточенная сила, на эпюре M наблюдается излом, направленные в сторону действия силы;

- в сечении, где приложен сосредоточенный момент, на эпюре M наблюдается скачок на величину этого момента.

- в сечении, где приложен сосредоточенный момент, на эпюре M наблюдается скачок на величину этого момента.

Эпюра моментов, построенная на рис.11 для элемента CBE удовлетворяет первым двум правилам соответствия внешней нагрузке.

Построив эпюру моментов для всех отдельных элементов сооружения, можно получить общую эпюру моментов для всего сооружения в целом. Пример эпюры моментов, построенной для заданного сооружения, представлен на рис. 12.

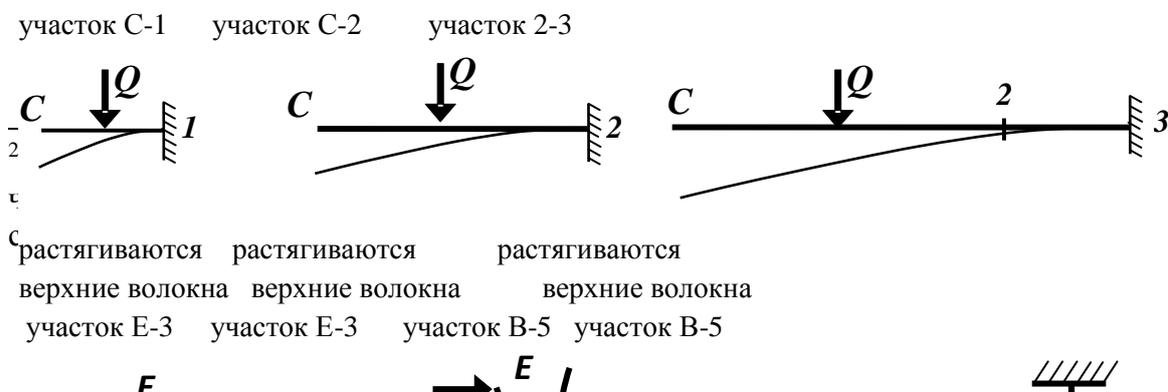
Построение эпюры Q . Эпюру поперечных сил можно строить двумя способами:

- в соответствии с определением поперечной силы²;
- по ранее построенной эпюре M .

Эпюра Q имеет знаки. Правило знаков для поперечной силы: поперечная сила в рассматриваемом сечении имеет знак “плюс”, если вектор Q , приложенный в сечении вращает отсеченную часть стержня по часовой стрелке (рис. 13а) и знак “минус”, если вектор Q вращает отсеченную часть стержня против часовой стрелке (рис. 13б).

Построение эпюры Q «по определению» выполняется так же, как и эпюра M для отдельных элементов. При этом для рассматриваемого участка эпюры Q , проводится сечение и выбирается какая-либо часть элемента. В рассматриваемом сечении прикладывается поперечная сила, далее составляется уравнение равновесия для отсеченной части и из этого уравнения находится величина и направление вектора Q и в соответствии с правилом знаков для поперечной силы (рис. 13) определяется ее знак. На рис. 14 показано как это делается для элемента CBE в сечении 2 участка $C-2$. Этот способ более трудоемкий по сравнению со вторым «по ранее построенной эпюре M ».

а) Определение растянутых волокон для построения эпюры моментов



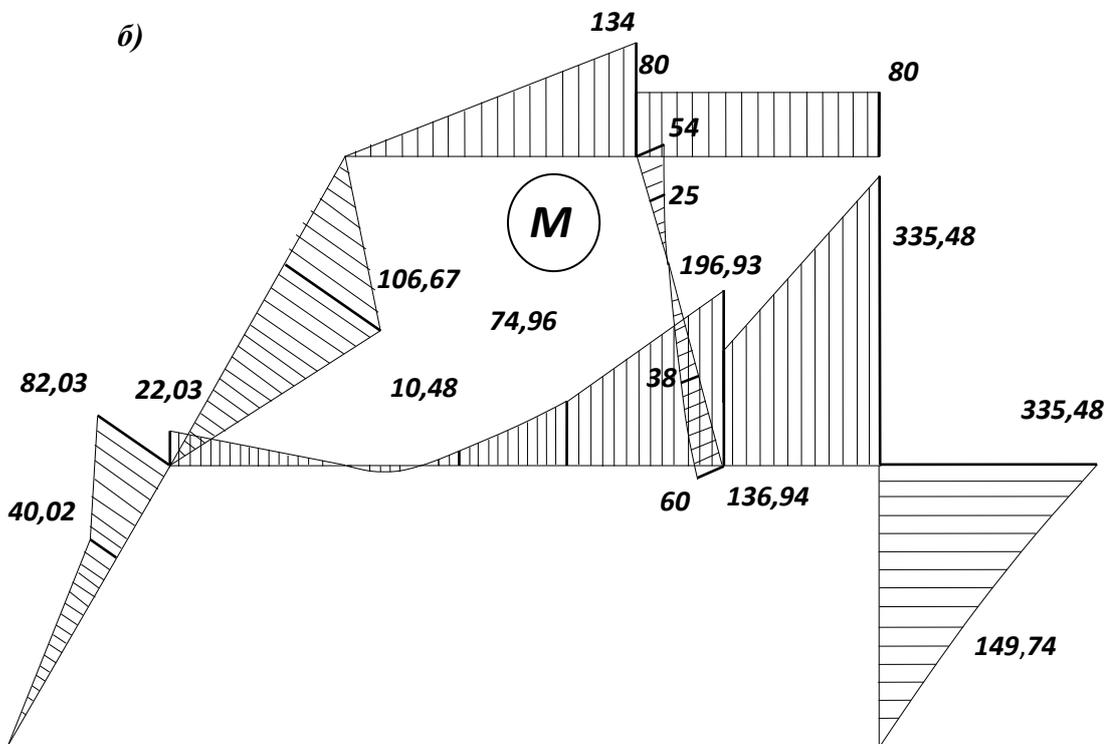
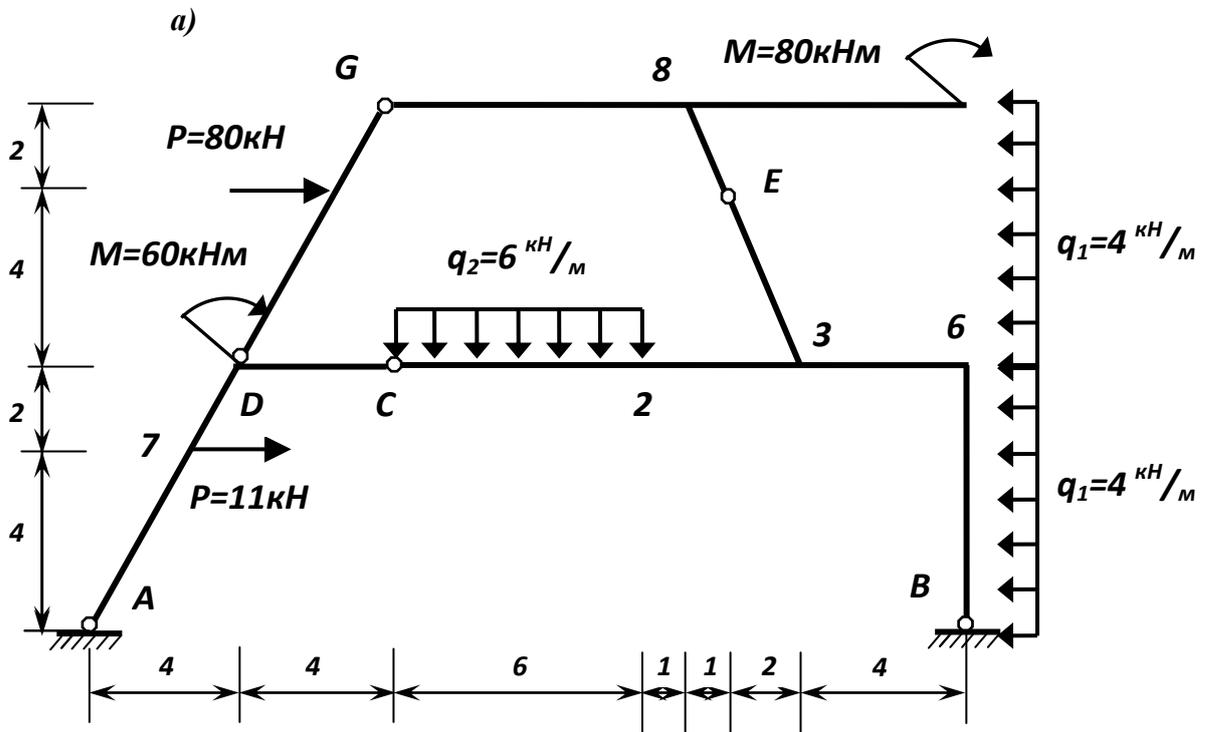


Рис. 12. Расчетная схема рамы (а) и эпюра моментов (б)

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 57 из 89

Способ построения эпюры Q по эпюре M основывается на дифференциальной зависимости Журавского: $Q = \frac{dM}{ds}$. Благодаря этой зависимости можно вычислить величину и знак поперечной силы. Величина находится в соответствии со смыслом первой производной – это есть тангенс угла между касательной к эпюре M и осью стержня. Если эпюра M представляет собой прямую, то касательная к прямой линии совпадает



Рис. 13. Правило знаков для поперечной силы Q

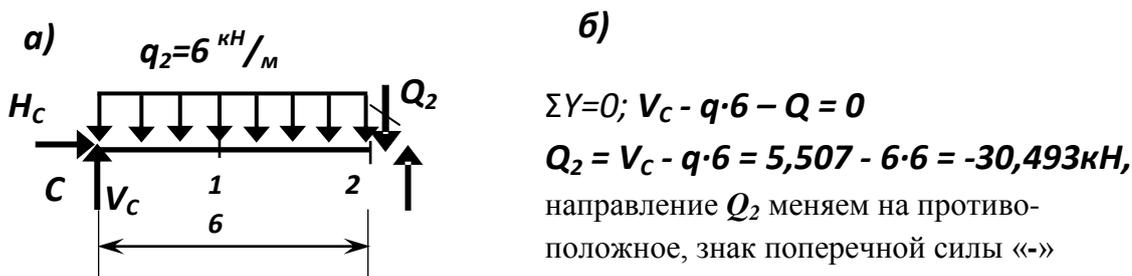


Рис. 14. Нахождение поперечной силы Q (на рис. *а*) показано истинное направление силы, определенное из решения уравнения равновесия по *б*), а также установлен знак поперечной силы)

с самой прямой, поэтому на прямолинейных участках эпюры M **величину поперечной силы находим по тангенсу угла наклона линии моментов к оси стержня** (см. рис. 15). Причем, если концевые ординаты прямой расположены с одной стороны стержня, то величина Q равна частному от деления разности концевых ординат на длину участка прямолинейной эпюры моментов. Если же концевые ординаты прямой расположены по разные стороны стержня, то величина Q равна частному от деления суммы концевых ординат на длину участка прямолинейной эпюры моментов.

Используя зависимость Журавского можно определить и знак поперечной силы: если задаться положительным направлением оси стержня (положительным «направлением обхода»), при этом $ds > 0$ и тогда знак поперечной силы будет определяться знаком dM (если $dM > 0$, то $Q > 0$, если $dM < 0$, то $Q < 0$). Поскольку на эпюре M знаки не ставятся, то необходимо ими задаться. Определить когда эпюра M возрастает, а когда убывает можно с помощью правила «пунктира»: **задаемся положительным направлением обхода и, двигаясь по оси стержня в положительном**

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 58 из 89

направлении, пунктиром справа отмечаем положительные ординаты эпюры M , если при этом ординаты эпюры возрастают, то знак поперечной силы «плюс», если ординаты убывают, знак Q «минус». Возрастание и убывание следует определять в алгебраическом смысле, а не по модулю значения ординаты эпюры M . Правило «пунктира» приведено на рис. 16.

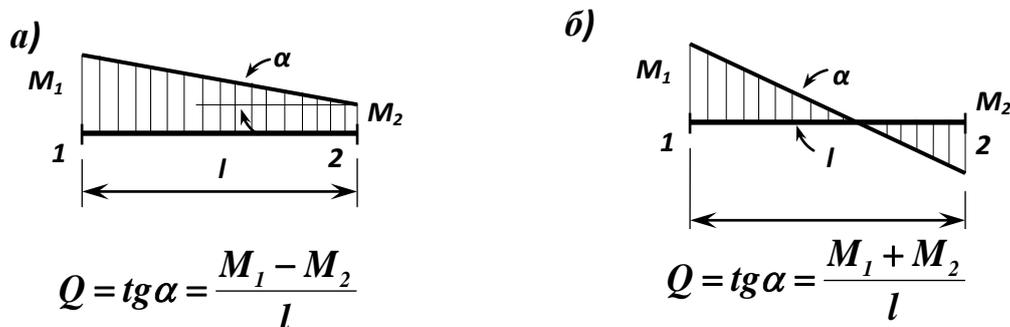
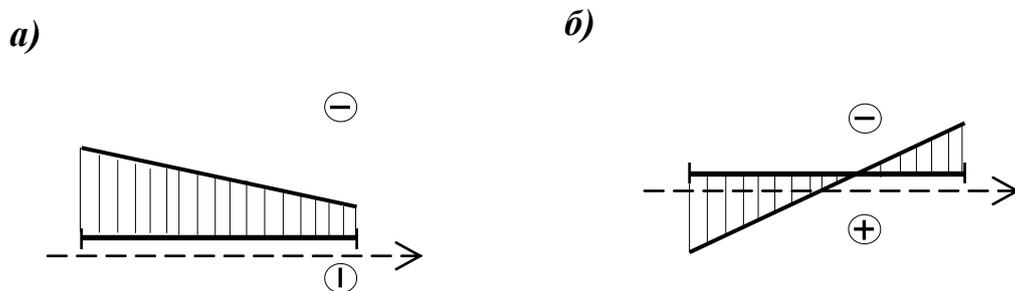


Рис. 15. Нахождение величины поперечной силы Q (на рис. *a*) показан вариант, когда ординаты эпюры моментов находятся по одну сторону от оси стержня; на рис. *б*) вариант, когда ординаты эпюры моментов находятся по разные стороны от оси стержня)



Ординаты эпюры M возрастают, следовательно знак поперечной силы «плюс»

Ординаты эпюры M убывают, следовательно знак поперечной силы «минус»

Рис. 16. Определение знака поперечной силы Q по эпюре моментов M для прямолинейных участков (на рисунке стрелка на пунктирной линии указывает положительное направление обхода)

На участках, где эпюра моментов – кривая линия (участок загружен распределенной нагрузкой), тангенс угла наклона касательной к кривой в каждом сечении стержня разный, поэтому величину поперечной силы можно найти, если вспомнить, что в случае загрузки участка равномерно распределенной нагрузкой, эпюра Q на этом участке представляет собой прямую линию. Чтобы построить график прямой линии, достаточно знать две ординаты этой прямой, например, в начале и в конце участка. Поэтому на участках, загруженных распределенной нагрузкой, вырезают участок, прикладывают к

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 59 из 89

нему все действующие на него силы (внешнюю нагрузку и внутренние усилия в сечениях M и Q) и составляют уравнения равновесия – сумму моментов относительно одного и другого концов участка. Из уравнений равновесия находят значения и направления векторов Q и по направлению вектора Q в соответствии с правилом знака (см. рис. 13), определяют знак поперечной силы в рассматриваемом сечении. На рис. 17 показано как это делается.

Эпюру Q строят по общей эпюре M , рассматривая отдельные участки и определяя величину и знаки поперечной силы. Пример построения эпюры Q приведен на рис 18. После построения эпюры Q , необходимо проверить ее соответствие внешней нагрузке.

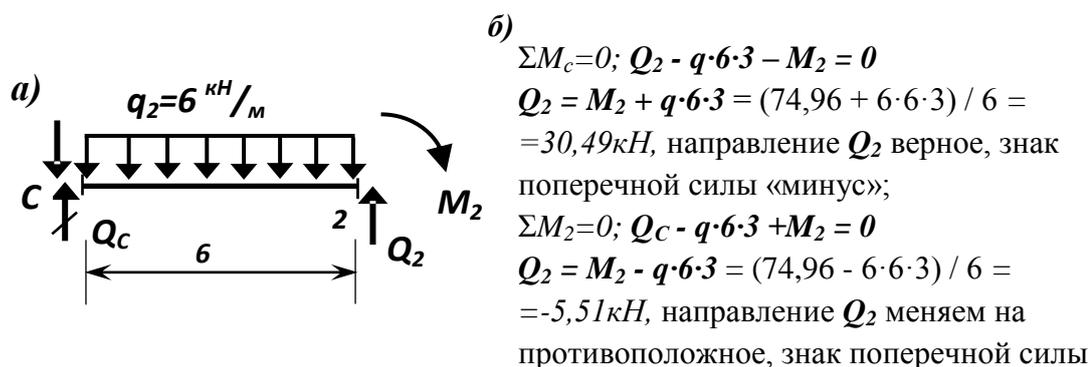


Рис. 17. Нахождение поперечной силы Q на участке с распределенной нагрузкой (а) – схема вырезанного участка, с действующими силами; б) – нахождение величины, направления и знака Q

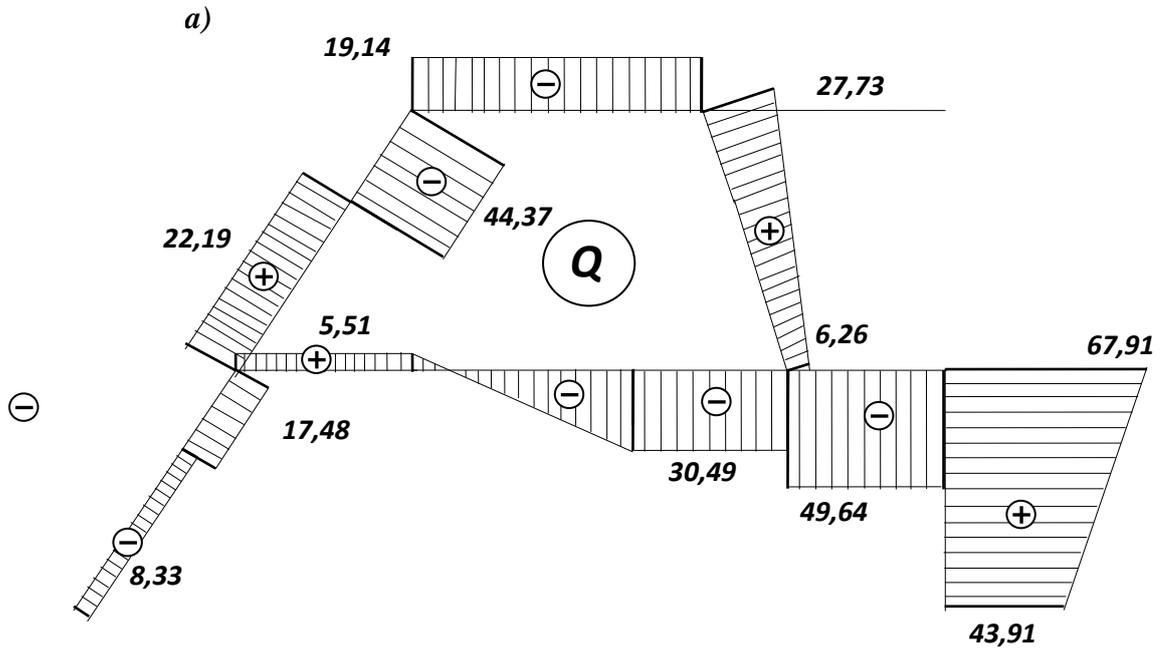
Построение эпюры N . Эпюру поперечных сил можно строить двумя способами:

- в соответствии с определением продольной силы³;
- по ранее построенной эпюре Q .

Эпюра N имеет знаки. Правило знаков для продольной силы: продольная сила в рассматриваемом сечении имеет знак “плюс”, если вектор N , приложенный в сечении растягивает отсеченную часть стержня (рис. 19а) и знак “минус”, если вектор N сжимает отсеченную часть стержня (рис. 19б).

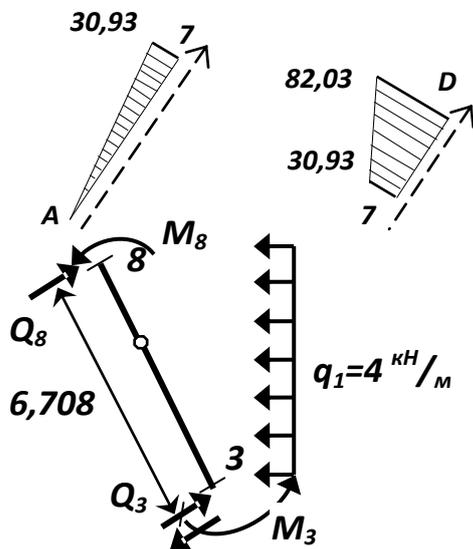
³ Продольной силой (N) в каком-либо сечении стержня называется внутреннее усилие, численно равное алгебраической сумме проекций всех сил, взятых по одну сторону от сечения на ось, касательную к оси стержня в рассматриваемом сечении.

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 60 из 89



б)

Участок А-7: $Q = 30,93/4,807 = 6,43$ кН (эпюра моментов убывает, знак Q «минус»);
 участок 7-D: $Q = 82,03 - 30,93/2,404 = 21,26$ кН (эпюра моментов убывает, знак Q «минус»);



участок 3-8: $\Sigma M_3 = 0;$

$$Q_8 \cdot 6,708 - q \cdot 6 \cdot 3 - M_8 - M_3 = 0;$$

$$Q_8 = (4 \cdot 6 \cdot 3 + 54 + 60) / 6,708 = 27,73 \text{ кН}$$

знак поперечной силы «плюс»;

$$\Sigma M_8 = 0;$$

$$Q_3 \cdot 6,708 - q \cdot 6 \cdot 3 + M_8 + M_3 = 0;$$

$$Q_3 = (4 \cdot 6 \cdot 3 - 54 - 60) / 6,708 = -6,26 \text{ кН}$$

направление поперечной силы меняем на противоположное, знак поперечной силы «плюс».

Рис. 18. Эпюра поперечных сил (a) и примеры определения ординат эпюры Q на отдельных участках (б)

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 61 из 89

Построение эпюры N «по определению» выполняется так же, как и эпюра M для отдельных элементов. При этом для рассматриваемого участка эпюры N , проводится сечение и выбирается какая-либо часть элемента. В рассматриваемом сечении прикладывается продольная сила, далее составляется уравнение равновесия для отсеченной части и из этого уравнения находится величина и направление вектора N и в соответствии с



Рис. 19. Правило знаков для продольной силы N

правилом знаков для продольной силы (рис. 20) определяется ее знак. На рис. 20 показано как это делается для элемента CEB на участке 3-6 (см. рис. 12). Этот способ более трудоемкий по сравнению со вторым «по ранее построенной эпюре Q ».

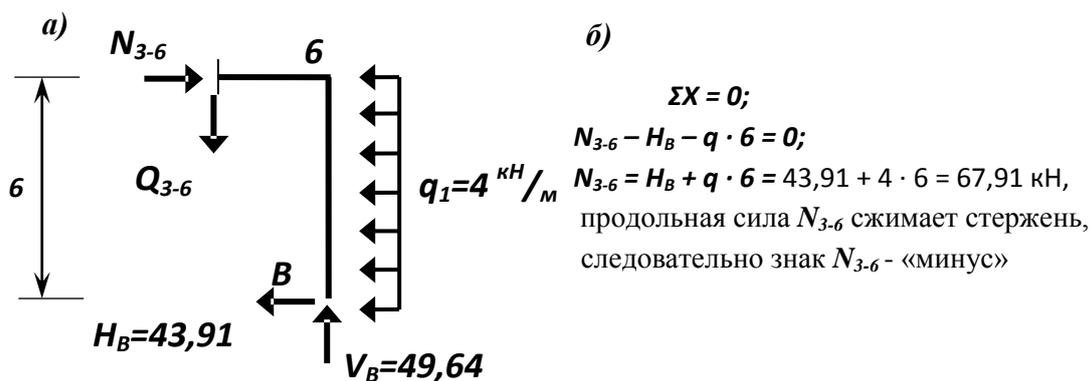


Рис. 20. Нахождение продольной силы N на участке 3-6 (а) – схема вырезанной части элемента CBE , с действующими на нее силами; б) – нахождение величины, направления и знака N

По эпюре поперечных сил можно построить эпюру продольных сил, используя способ «вырезания узлов». Порядок построения эпюры N следующий: вначале вырезается тот узел (те узлы), где сходятся два стержня. Затем последовательно вырезаются узлы, в которых сходятся не более двух стержней, в которых продольные силы неизвестны. Пример построения эпюры продольных сил представлен на рис. 21. Если стержни в узле соединяются под прямым углом, значение и направление продольной силы определяется просто (см. рис. 21, узел б). Если же стержни соединяются не под прямым углом, то

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 62 из 89

необходимо составлять уравнения проекций на оси, перпендикулярные осям стержней в которых продольные силы неизвестны (см. рис. 21, узел 3).

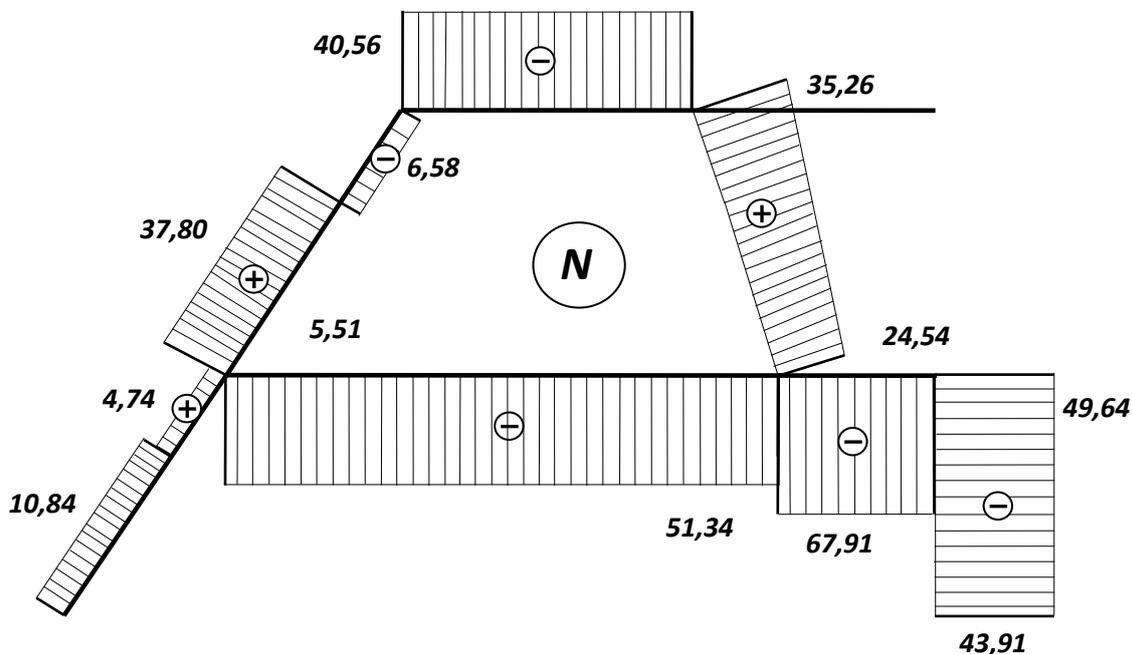


Рис. 21. Эпюра продольных сил

После построения всех эпюр и проверки их по соответствию внешней нагрузке, необходимо еще выполнить статическую проверку правильности построения всех эпюр. Для этого необходимо вырезать двумя сечениями часть сооружения (желательно без опор), приложить в сечениях внутренние усилия, взяв их с построенных эпюр и составить для рассматриваемой части три уравнения равновесия: два уравнения проекций сил на координатные оси и уравнение моментов сил относительно какой-либо точки. Пример такой проверки приведен на рис. 23.

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 63 из 89

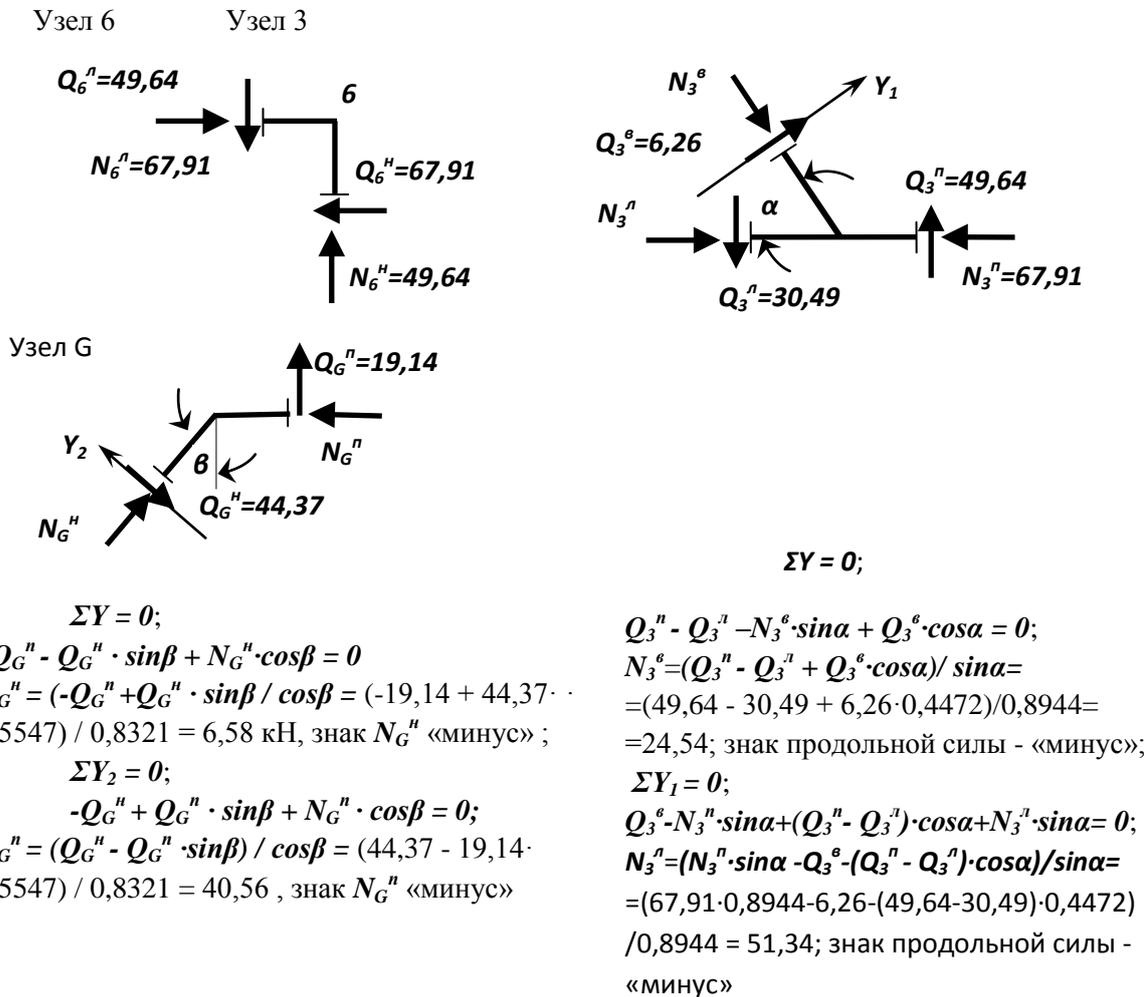
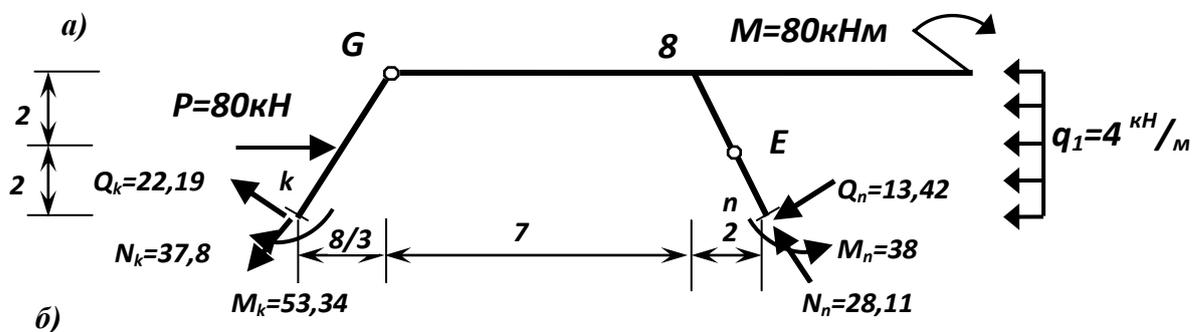


Рис. 22. Примеры определения ординат эпюры N на отдельных участках (б) (индексы $n, в, л, п$ означают ориентацию сечения относительно узла – *нижнее, верхнее, левое, правое*)



$\Sigma Y = 0;$

$-N_k \cdot \cos\beta + N_n \cdot \sin\alpha - Q_n \cdot \cos\alpha + Q_k \cdot \sin\beta = -37,8 \cdot 0,8321 + 28,11 \cdot 0,8944 - 13,42 \cdot 0,4472 + 22,19 \cdot 0,5547 = 0;$

$\Sigma X = 0;$

$-N_k \cdot \sin\beta - N_n \cdot \cos\alpha - Q_n \cdot \sin\alpha + Q_k \cdot \cos\beta - q \cdot 4 + P = -37,8 \cdot 0,5547 - 28,11 \cdot 0,4472 - 13,42 \cdot 0,8944 - 22,19 \cdot 0,8321 - 16 + 80 = 0;$

$\Sigma M_n = 0;$

$-N_n \cdot \sin\alpha \cdot 11,667 + Q_n \cdot \cos\alpha \cdot 11,667 - M_n + M_k - q \cdot 4 \cdot 2 + P \cdot 2 + M = -28,11 \cdot 0,8944 \cdot 11,667 + 13,42 \cdot 0,4472 \cdot 11,667 - 38 + 53,34 - 4 \cdot 4 \cdot 2 + 80 \cdot 2 + 80 = 0;$

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 64 из 89

2.3. Расчет шарнирно-консольных балок

Сформулируем определение шарнирно-консольной балки: *шарнирно-консольной балкой называется статически определимое стержневое сооружение, составленное из прямолинейных стержней, расположенных на одной линии, соединенных между собой шарнирами и прикрепленных к земле или другому сооружению с помощью шарнирных и защемляющих опор.* Примеры шарнирно-консольных балок приведены на рис. 24.

Прежде, чем приступить к расчету шарнирно-консольных балок, необходимо проверить, являются ли они статически определимыми и геометрически неизменяемыми. Степень статической неопределимости можно подсчитать по формуле:

$$C_H = 2 \cdot Ш + C_{он} - 3 \cdot Д, \quad (1)$$

где: C_H – степень статической неопределимости;

$Ш$ – количество шарниров (с учетом их кратности);

$C_{он}$ – количество опорных стержней (связей);

$Д$ – количество дисков (стержней) системы.

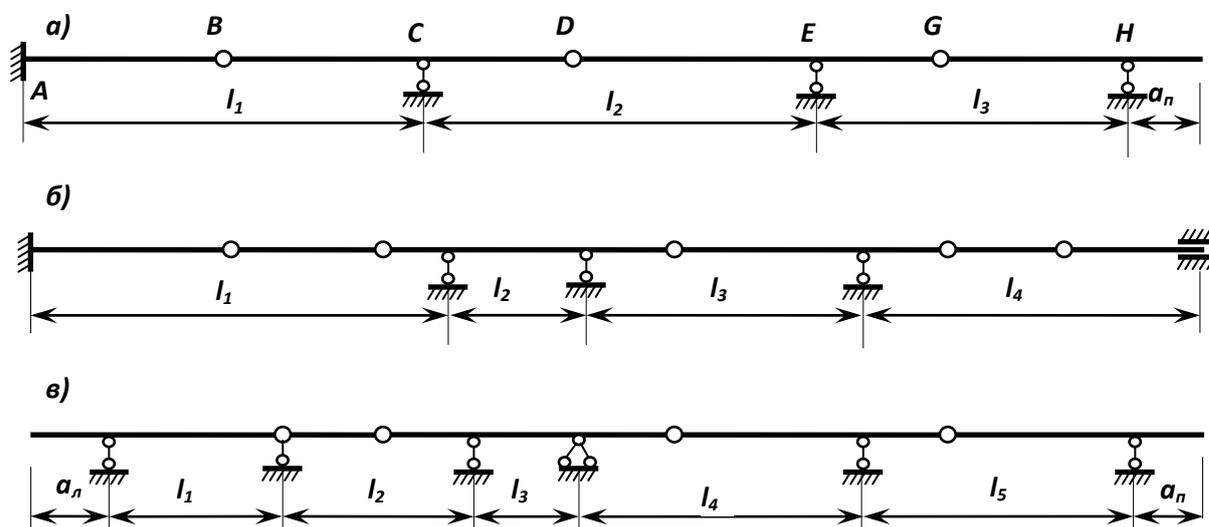


Рис. 24. Примеры шарнирно-консольных балок

Степень свободы системы подсчитывается по похожей формуле:

$$W = 3 \cdot Д - 2 \cdot Ш - C_{он}, \quad (2)$$

где: W – степень свободы системы; остальные составляющие такие же, как

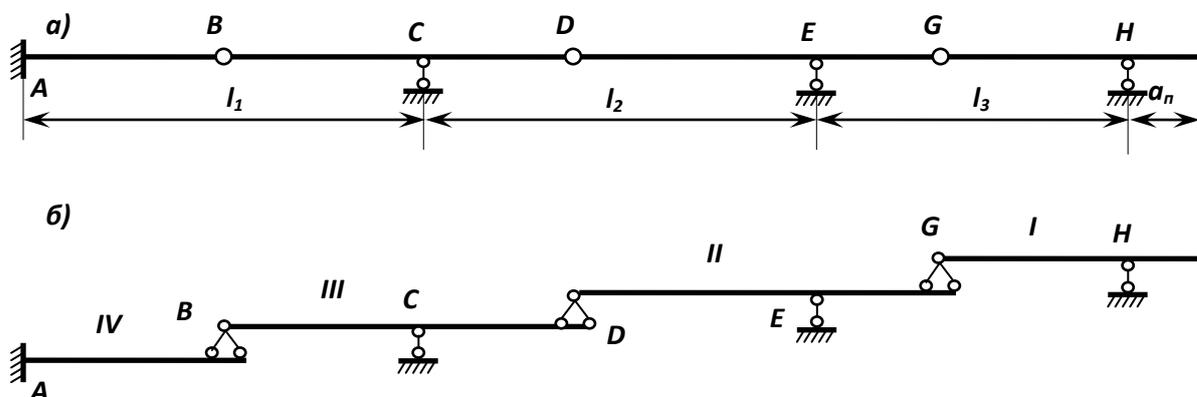
ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 65 из 89

и в формуле (1) для подсчета степени статической неопределимости. Если $W=0$, то еще необходимо доказать, что система геометрически неизменяема. Это можно сделать, например, с помощью правил образования жестких дисков (см. п. 9.3.1 [1], §1.2 [2]).

Покажем, как пользоваться формулами на примере балки, изображенной на рис. 24 а). Здесь шарниров $Ш=3$, опорных связей $C_{оп}=6$, дисков $D=4$, подсчет по формуле (1): $C_n = 2 \cdot 3 + 6 - 3 \cdot 4 = 0$ – система статически определима. Подсчет по формуле (2) дает такой же результат, поскольку $W = -C_n = 0$. Проанализируем геометрическую структуру балки: Диск AB является геометрически неизменяемым, поскольку он присоединен к земле с помощью трех стержней (опорных связей) оси которых не пересекаются в одной точке и не параллельны. Диск BCD присоединен к неизменяемой системе AB с помощью шарнира B и стержня (опорного) C , ось которого не проходит через шарнир B , следовательно, система $ABCD$ является геометрически неизменяемой. К неизменяемой системе $ABCD$ аналогично присоединяется диск DEG . К полученной неизменяемой системе $ABCDEG$ аналогично присоединяется диск GH , следовательно, вся балка геометрически неизменяема.

Расчет шарнирно-консольных балок весьма прост, если выбрать хороший план расчета. Для этого необходимо построить поэтажную (или этажную) схему. Поэтажная схема строится снизу вверх, начиная с главных (основных) элементов. **Главными элементами называются такие элементы, которые имеют две опоры на земле или защемляющую опору.** Остальные элементы можно назвать второстепенными, они могут иметь одну опору на земле или вовсе не иметь опор на земле. Процесс построения следующий: находим основные элементы и располагаем их внизу, затем опираем на них и на землю второстепенные элементы и выстраиваем «этаж» выше нижнего. Главное – необходимо следить, чтобы очередной элемент имел бы две опоры. Если встречается элемент, который имеет одну опору на этаже ниже, а вторую опору нельзя опереть ни на что надежное, то необходимо начать построение с другого конца (или участка) балки, это всегда возможно.

Построение поэтажной схемы покажем на примере рассмотренной выше балки (рис. 25 а). Здесь имеем один главный элемент – AB , располагаем его внизу, далее элемент BCD имеет одну опору на главном элементе, а другую – на земле. На элемент BCD и на землю опирается элемент DEG . И наконец, на элемент DEG и землю опирается элемент GH . Расчет производится в порядке, обратном построению поэтажной схемы, а именно, сверху вниз. Вначале рассчитываются верхние элементы, затем элементы, расположенные ниже этажом и так далее до самых нижних (основных) элементов. Последовательность расчета указывается на поэтажной схеме римскими цифрами. Поэтажная схема и соответственно последовательность расчета показана на рис. 25б).



ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 66 из 89

Покажем расчет шарнирно-консольной балки на примере балки, изображенной на рис. 26а. На балку действует постоянная нагрузка, показанная на рисунке и временная линейная равномерно-распределенная нагрузка интенсивностью $r = 5$ кН/м. Наметим сразу сечения, в которых необходимо подсчитать ординаты эпюры M (не менее пяти сечений в пролете однопролетных балок, включая опорные и одно-два сечения на консоли). Промежуточные сечения указаны на рис 26а.

В соответствии с порядком расчета, указанном на рис. 26б, начинаем расчет с элементов BC и KM . Нахождение усилий в шарнирах и построение эпюры M для этих элементов показано на рис. 27а и 27б. Следует отметить, что поскольку горизонтальная нагрузка на балку не действует, то горизонтальная составляющая реакции опоры A равна нулю, а отсюда и все горизонтальные усилия в шарнирах также равны нулю, поэтому находим

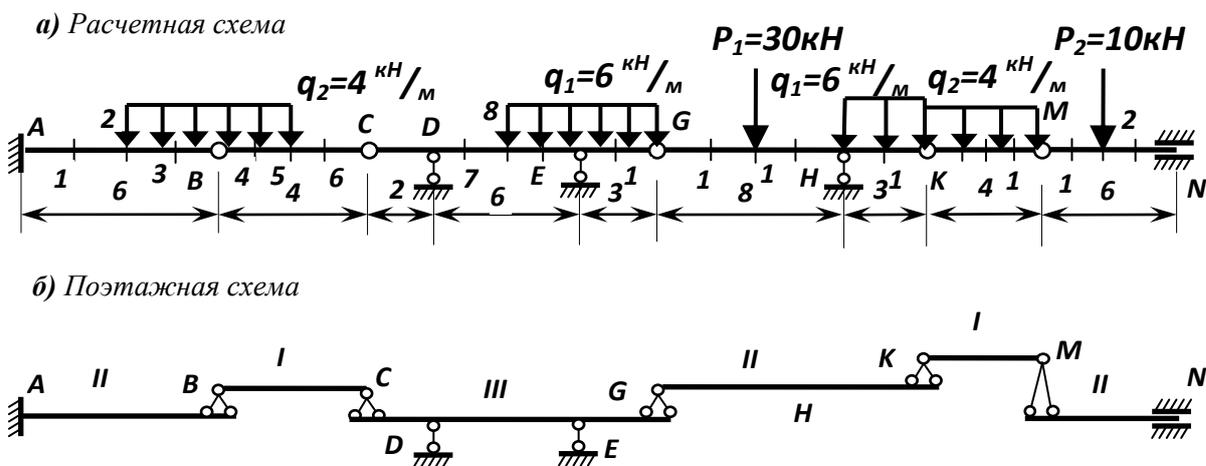


Рис. 26. Загружение постоянной нагрузкой и поэтажная схема балки

только вертикальные усилия в шарнирах. Построив эпюры M в элементах BC и KM рассчитываем элементы AB , GHK и MN .

Определение вертикального усилия в шарнире G и опорной реакции H показано на рис. 27в, там же построена эпюра моментов для элемента GHK . Построение эпюр моментов на элементах AB и MN , а также расчет и построение эпюры моментов для элемента $CDEG$ показано на рис 28. Отметим, что опорные реакции в элементах AB и MN можно не находить потому, что эпюру M в консольных балках можно построить направляясь с конца балки к заделке.

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 67 из 89

Общую эпюру моментов можно построить, если отложить от общей оси все ранее построенные эпюры M на отдельных элементах. Общая эпюра M представлена на рис. 29а). По общей эпюре моментов строится эпюра Q (см. рис. 29б и рис. 30).

Рассмотренный выше расчет шарнирно-консольной балка является расчетом на постоянную нагрузку, то есть такую нагрузку, которая не меняет своего места положения за весь период эксплуатации балки. Но на балку может действовать и нагрузка, которая может находиться в любом месте балки и на любом ее участке, такую нагрузку называют временной

а)

$\Sigma M_C = 0;$
 $V_B \cdot 4 - q_2 \cdot 2 \cdot 3 = 0; V_B = 4 \cdot 2 \cdot 3 / 4 = 6 \text{ кН};$
 $\Sigma M_B = 0;$
 $V_C \cdot 4 - q_2 \cdot 2 \cdot 1 = 0; V_C = 4 \cdot 2 \cdot 1 / 4 = 2 \text{ кН};$
 Проверка : $\Sigma Y = 0;$
 $V_C + V_B - q_2 \cdot 2 = 6 + 2 - 8 = 0.$

Подсчет ординат эпюры M
 $M_4 = V_B \cdot 1 - q_1 \cdot 1 \cdot 0,5 = 6 \cdot 1 - 4 \cdot 1 \cdot 0,5 = 4 \text{ кНм}$
 $M_5 = V_C \cdot 2 = 2 \cdot 1 = 4 \text{ кНм}; M_6 = 0,5 \cdot M_5 = 2 \text{ кНм};$ во всех рассмотренных сечениях растягиваются нижние волокна

б)

$\Sigma M_K = 0;$
 $V_K \cdot 4 - q_2 \cdot 4 \cdot 2 = 0; V_K = 4 \cdot 4 \cdot 2 / 4 = 8 \text{ кН};$
 $\Sigma M_M = 0;$
 $V_M \cdot 4 - q_2 \cdot 4 \cdot 2 = 0; V_M = 4 \cdot 4 \cdot 2 / 4 = 8 \text{ кН};$
 Проверка : $\Sigma Y = 0;$
 $V_M + V_K - q_2 \cdot 4 = 8 + 8 - 16 = 0.$

Подсчет ординат эпюры M
 $M_{11} = V_K \cdot 1 - q_2 \cdot 1 \cdot 0,5 = 8 \cdot 1 - 4 \cdot 1 \cdot 0,5 = 6 \text{ кНм}$
 $M_{12} = V_K \cdot 2 - q_2 \cdot 2 \cdot 1 = 8 \cdot 2 - 4 \cdot 2 \cdot 1 = 8 \text{ кНм};$
 $M_{13} = M_{11} = 6 \text{ кНм};$ во всех рассмотренных сечениях растягиваются нижние волокна

в)

$\Sigma M_G = 0; V_H \cdot 8 - q_1 \cdot 3 \cdot 9,5 - P_1 \cdot 4 - V_K \cdot 11 = 0; V_H = (6 \cdot 3 \cdot 9,5 + 30 \cdot 4 + 8 \cdot 11) / 8 = 47,38 \text{ кН};$
 $\Sigma M_H = 0; V_G \cdot 8 + q_1 \cdot 3 \cdot 1,5 - P_1 \cdot 4 + V_K \cdot 3 = 0; V_G = (30 \cdot 4 - 6 \cdot 3 \cdot 1,5 + 8 \cdot 3) / 8 = 8,62 \text{ кН};$
 Проверка : $\Sigma Y = 0; V_H + V_G - q_1 \cdot 3 - P_1 - V_K = 47,38 + 8,62 - 6 \cdot 3 - 30 - 8 = 0.$

Подсчет ординат эпюры M : $M_8 = V_G \cdot 4 = 8,62 \cdot 4 = 34,48 \text{ кНм}; M_7 = 0,5 \cdot M_8 = 17,24 \text{ кНм};$
 $M_9 = V_G \cdot 6 - P_1 \cdot 2 = 8,62 \cdot 6 - 30 \cdot 2 = -8,28 \text{ кНм}. M_H = -V_K \cdot 3 - q_1 \cdot 3 \cdot 1,5 = -8 \cdot 3 - 6 \cdot 3 \cdot 1,5 = -51, \text{ кНм}; M_{10} = -$
 $V_K \cdot 1,5 - q_1 \cdot 1,5 \cdot 0,75 = -8 \cdot 1,5 - 6 \cdot 1,5 \cdot 0,75 = -18,75 \text{ кНм}.$ В сечениях 7-8 растягиваются нижние волокна, в сечениях 9,10 и H растягиваются верхние волокна.

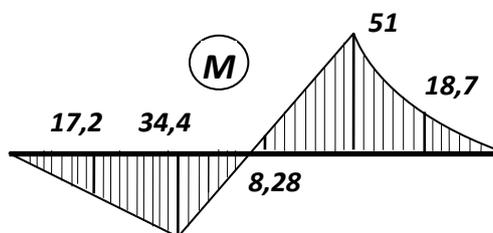
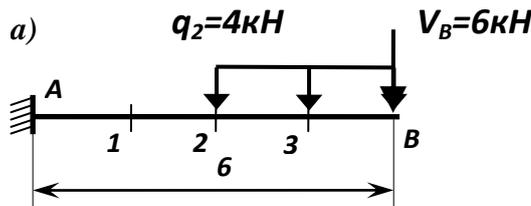


Рис. 27. Расчет и построение эпюры моментов

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 68 из 89



Подсчет ординат эпюры M

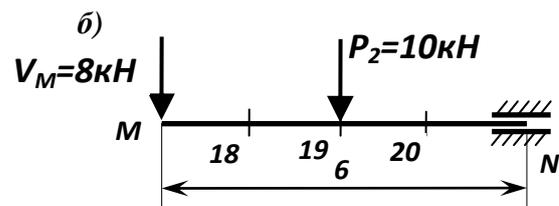
$$M_3 = V_B \cdot 1,5 + q \cdot 1,5 \cdot 0,75 = 6 \cdot 1,5 + 4 \cdot 1,5 \cdot 0,75 = 13,5 \text{ кНм};$$

$$M_2 = V_B \cdot 3 + q \cdot 3 \cdot 1,5 = 6 \cdot 3 + 4 \cdot 3 \cdot 1,5 = 36 \text{ кНм};$$

$$M_1 = V_B \cdot 4,5 + q \cdot 3 \cdot 3 = 6 \cdot 4,5 + 4 \cdot 3 \cdot 3 = 63 \text{ кНм};$$

$$M_A = V_B \cdot 6 + q \cdot 3 \cdot 4,5 = 6 \cdot 6 + 4 \cdot 3 \cdot 4,5 = 90 \text{ кНм};$$

во всех рассмотренных сечениях растягиваются верхние волокна



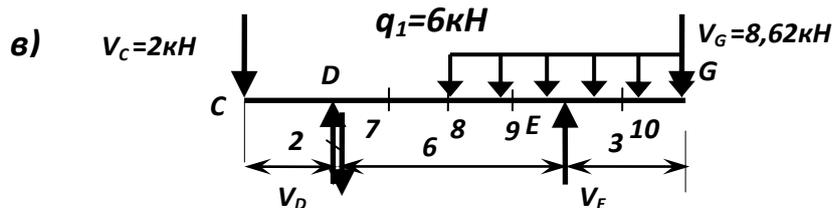
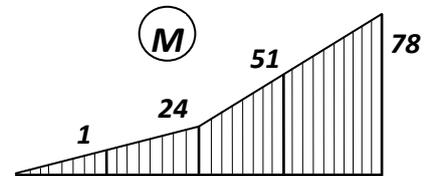
Подсчет ординат эпюры M

$$M_{18} = V_M \cdot 1,5 = 8 \cdot 1,5 = 12 \text{ кНм}; \quad M_{19} = V_M \cdot 3 = 8 \cdot 3 = 24 \text{ кНм};$$

$$M_{20} = V_M \cdot 4,5 + P_2 \cdot 1,5 = 8 \cdot 4,5 + 10 \cdot 1,5 = 51 \text{ кНм};$$

$$M_{20} = V_M \cdot 6 + P_2 \cdot 3 = 8 \cdot 6 + 10 \cdot 3 = 78 \text{ кНм};$$

во всех рассмотренных сечениях растягиваются верхние волокна



$$\sum M_D = 0; \quad V_E \cdot 6 - q_1 \cdot 6 \cdot 6 - V_G \cdot 9 + V_C \cdot 2 = 0; \quad V_E = (6 \cdot 6 \cdot 6 + 8,62 \cdot 9 - 2 \cdot 2) / 6 = 48,26 \text{ кН};$$

$$\sum M_E = 0; \quad V_D \cdot 6 + V_G \cdot 3 - V_C \cdot 8 = 0; \quad V_D = (2 \cdot 8 - 8,62 \cdot 3) / 8 = -1,64 \text{ кН};$$

Проверка : $\sum Y = 0; \quad V_E - V_D - q_1 \cdot 6 - V_C - V_G = 48,26 - 8,62 - 6 \cdot 6 - 1,64 - 2 = 0.$

Подсчет ординат эпюры M

$$M_D = V_C \cdot 2 = 2 \cdot 2 = 4 \text{ кНм}; \quad M_7 = V_C \cdot 3,5 + V_D \cdot 1,5 = 2 \cdot 3,5 + 1,64 \cdot 1,5 = 9,46 \text{ кНм};$$

$$M_8 = V_C \cdot 5 + V_D \cdot 3 = 2 \cdot 5 + 1,64 \cdot 3 = 14,92 \text{ кНм}; \quad M_9 = V_C \cdot 6,5 + V_D \cdot 4,5 + q_1 \cdot 1,5 \cdot 0,75 =$$

$$2 \cdot 6,5 + 1,64 \cdot 4,5 + 6 \cdot 1,5 \cdot 0,75 = 27,13 \text{ кНм}; \quad M_E = V_G \cdot 3 + q \cdot 3 \cdot 1,5 = 8,62 \cdot 3 + 6 \cdot 3 \cdot 1,5 =$$

$$= 52,86 \text{ кНм};$$

во всех рассмотренных сечениях растягиваются верхние волокна

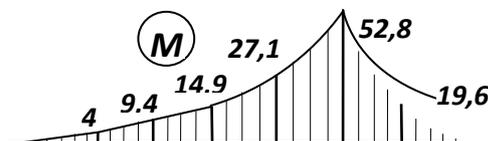


Рис. 28. Расчет и построение эпюры моментов для элементов AB (а), MN (б) и $CDEG$ (в)

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 69 из 89

Расчет на временную нагрузку имеет своей целью найти наихудшее положение такой нагрузки в сочетании с постоянной нагрузкой, которое вызывает наибольшие усилия в рассматриваемых сечениях балки. Для определения наибольших усилий (расчетных усилий) строятся специальные эпюры, называемые объемлющими. **Объемлющей эпюрой моментов называются две экстремальные эпюры, ограничивающие область значений изгибающих моментов для всех сечений шарнирно-консольной балки, при всевозможных положениях временной нагрузки на балке.** Расчет на наихудшее положение временной нагрузки на балке и построение объемлющей эпюры моментов выполняется различными способами. Самым простым из этих способов является расчет на последовательное загрузку временной нагрузкой всех пролетов и крайних консолей шарнирно-консольной балки по отдельности.

При расчете на временную нагрузку мы рассчитываем шарнирную балку столько раз, сколько есть пролетов у балки и крайних консолей. Порядок расчета балки на новое загрузку ничем не отличается от расчета на постоянную нагрузку, поскольку этот порядок определяется поэтажной схемой балки. Полезно при каждом расчете на новое положение временной нагрузки строить поэтажную схему балки и показывать на этой схеме загрузку временной нагрузкой. Поэтажная схема балки помогает сразу увидеть в каких пределах балки будет эпюра моментов от временного загрузку.

На рис. 31 приведено загрузку шарнирно-консольной балки (см. рис. 26), временной равномерно-распределенной нагрузкой $r = 5 \text{ кН/м}$ в первом пролете, порядок расчета и эпюра моментов от этого загрузку. Загрузки других пролетов и эпюры моментов от этих загрузку приведены на рис. 32. Эпюры моментов от постоянной и временной нагрузки являются исходными для построения объемлющей эпюры моментов. Подсчет ординат объемлющей эпюры моментов приведен в таблице 2. Ординаты объемлющей эпюры подсчитываются по формулам:

$$M_{max} = M_{пост} + \sum M_{i,врем}^+ ;$$

(3)

$$M_{min} = M_{пост} + \sum M_{i,врем}^-$$

По объемлющей эпюре моментов (рис. 33) можно определить расчетные моменты в каждом из рассмотренных сечений и подобрать параметры поперечных сечений балки. Обычно для элемента балки подбирают размеры поперечного сечения по наибольшему из расчетных моментов этого элемента.

Определим расчетные моменты для каждого элемента балки:

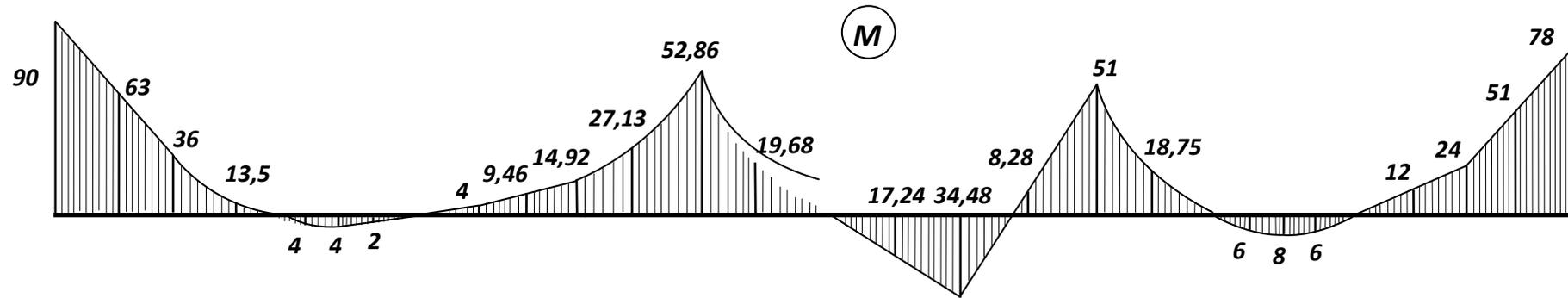
элемент А – В : $M_{расч} = 240 \text{ кНм}$; элемент В – С : $M_{расч} = 14 \text{ кНм}$;

элемент С – G : $M_{расч} = 135,36 \text{ кНм}$; элемент G – К : $M_{расч} = 103,5 \text{ кНм}$;

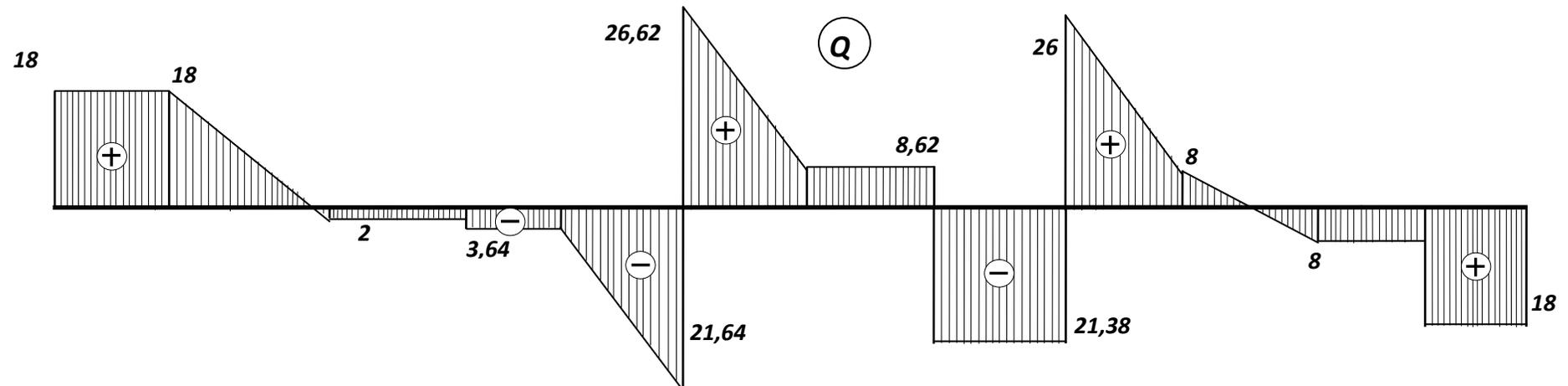
ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 70 из 89

элемент K – M : $M_{расч} = 18$ кНм; элемент M – N : $M_{расч} = 228$ кНм.

a)



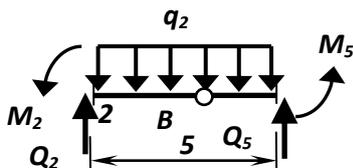
b)



Подсчет ординат эюры Q (см рис. 27)

Участок А-2: $Q = (90-36)/3=18$ кН, знак +; участок 5-9: $Q = (4+4) /4=2$ кН, знак -;
участок D-6: $Q = (14,92-4)/3=3,64$ кН, знак -; участок G-8: $Q = 34,48 /4= 8,62$ кН, знак +;
участок 8-Н: $Q = (34,48+51)/4= 21,38$ кН, знак -; участок 17-19: $Q = 24/3= 8$ кН, знак+ ;
участок 19-N: $Q = (78-24)/3= 18$ кН, знак+;

Участок 2-5:



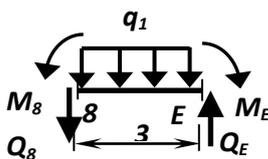
$$\sum M_5=0; Q_2 \cdot 5 - q_2 \cdot 5 \cdot 2,5 - M_2 - M_5 = 0;$$

$$Q_2 = (36 + 4 + 4 \cdot 5 \cdot 2,5) / 5 = 18 \text{ кН знак «плюс»};$$

$$\sum M_2=0; -Q_5 \cdot 5 + q_2 \cdot 5 \cdot 2,5 - M_2 - M_5 = 0;$$

$$Q_5 = (4 \cdot 5 \cdot 2,5 - 36 - 4) / 5 = 2 \text{ кН знак «минус»}.$$

Участок 8-E:



$$\sum M_8 = 0; Q_E \cdot 3 - q_1 \cdot 3 \cdot 1,5 + M_8 - M_E = 0;$$

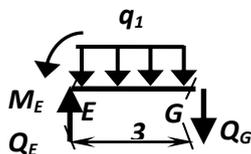
$$Q_E = (6 \cdot 3 \cdot 1,5 - 14,92 + 52,86) / 3 = 21,64 \text{ кН};$$

$$\sum M_E = 0; Q_8 \cdot 3 + q_1 \cdot 3 \cdot 1,5 + M_8 - M_E = 0;$$

$$Q_8 = (52,86 - 6 \cdot 3 \cdot 1,5 - 14,92) / 3 = 3,64 \text{ кН};$$

знак поперечных сил «минус».

Участок E-G:



$$\sum M_G = 0; Q_E \cdot 3 - q_1 \cdot 3 \cdot 1,5 - M_E = 0;$$

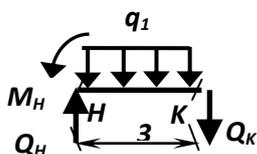
$$Q_E = (6 \cdot 3 \cdot 1,5 + 52,86) / 3 = 26,62 \text{ кН};$$

$$\sum M_E = 0; Q_G \cdot 3 + q_1 \cdot 3 \cdot 1,5 - M_E = 0;$$

$$Q_G = (52,86 - 6 \cdot 3 \cdot 1,5) / 3 = 8,62 \text{ кН};$$

знак поперечных сил «плюс».

Участок K-M:



$$\sum M_K = 0; Q_H \cdot 3 - q_1 \cdot 3 \cdot 1,5 - M_H = 0;$$

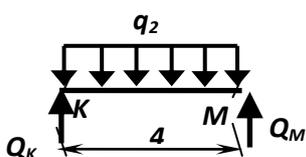
$$Q_H = (6 \cdot 3 \cdot 1,5 + 51) / 3 = 26 \text{ кН};$$

$$\sum M_H = 0; Q_K \cdot 3 + q_1 \cdot 3 \cdot 1,5 - M_H = 0;$$

$$Q_K = (51 - 6 \cdot 3 \cdot 1,5) / 3 = 8 \text{ кН};$$

знак поперечных сил «плюс».

Участок K-M:



$$\sum M_K=0; Q_M \cdot 4 - q_2 \cdot 4 \cdot 2 = 0;$$

$$Q_M = 4 \cdot 4 \cdot 2 / 4 = 8 \text{ кН, знак «минус»};$$

$$\sum M_M=0; -Q_K \cdot 5 + q_2 \cdot 4 \cdot 2 = 0;$$

$$Q_5 = 4 \cdot 4 \cdot 2 / 4 = 8 \text{ кН, знак «плюс»}.$$

Рис. 30. Подсчет ординат эюры поперечных сил

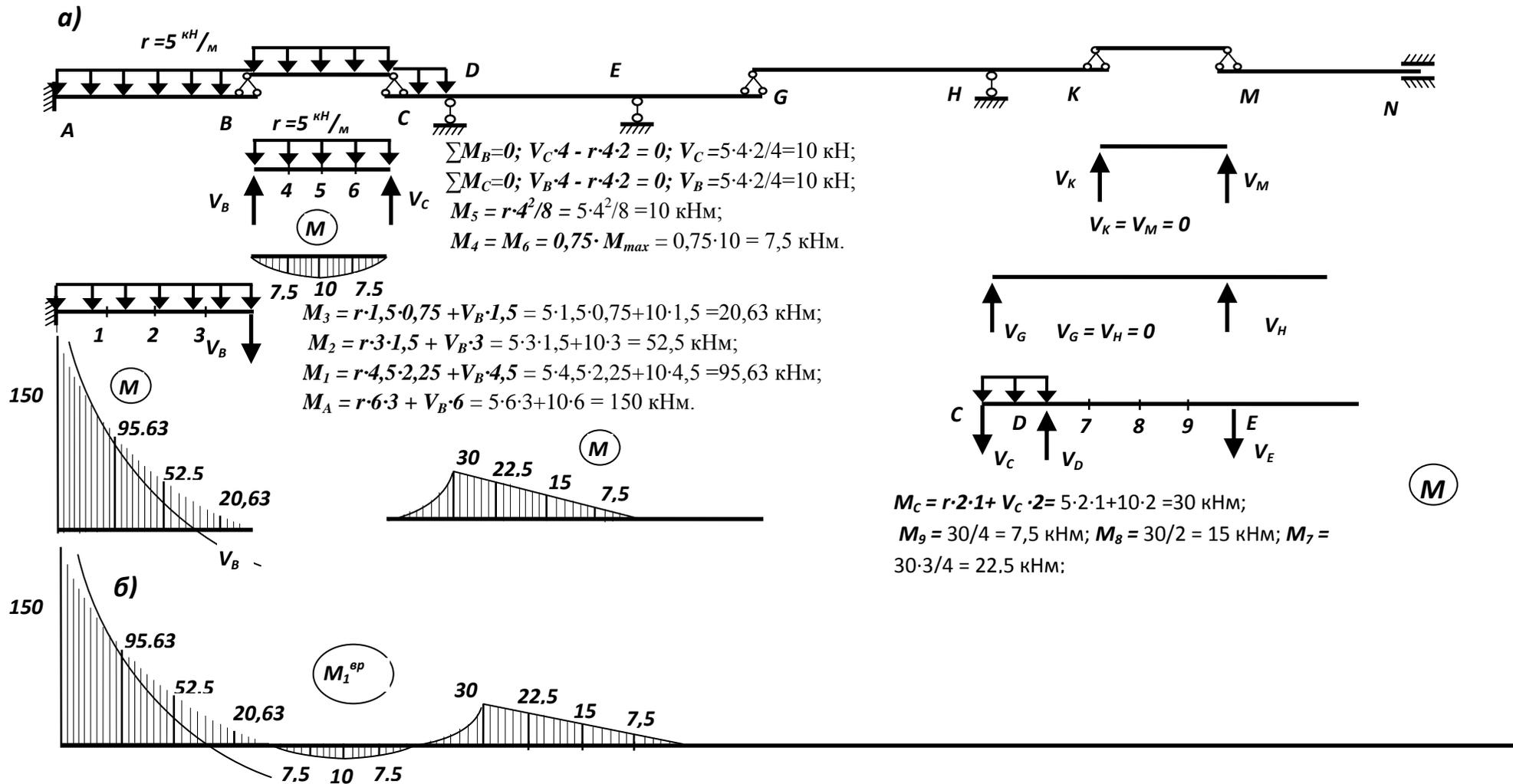


Рис. 31. Загружение первого пролета шарнирно-консольной балки временной нагрузкой r : а) поэтажная схема и расчет отдельных элементов; б) эпюра моментов (M_1^{ep}).

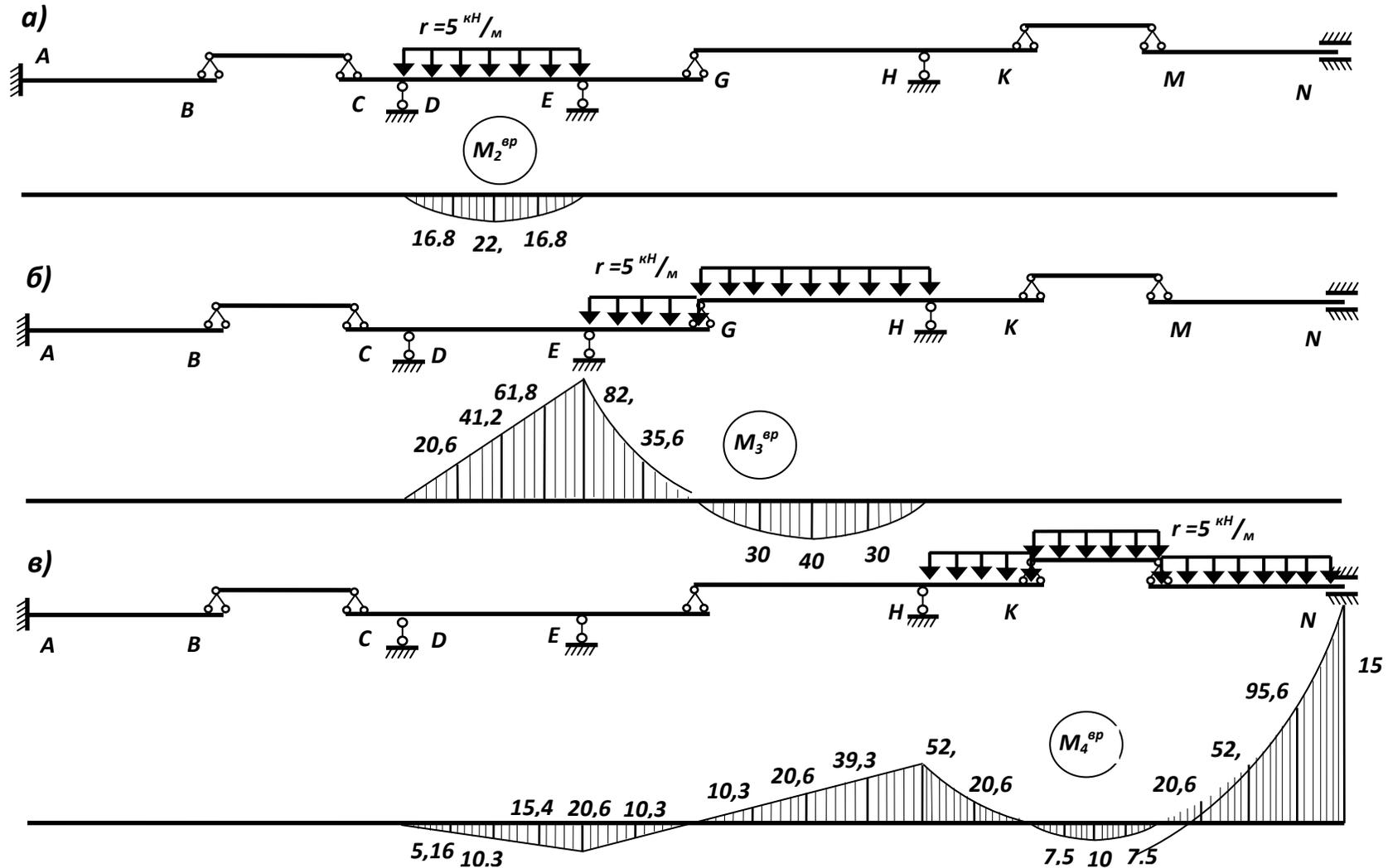


Рис. 32. Эпюры моментов в шарнирно-консольной балке от загрузки временной нагрузкой r : а) второго пролета; б) в третьего пролета; в) четвертого пролета

Таблица 2

Подсчет ординат объемлющей эпюры моментов шарнирно-консольной балки

№ сеч- Эпю-																														
	A	I	2	3	B	4	5	6	C	D	7	8	9	E	10	G	11	12	13	H	14	K	15	16	17	M	18	19	20	N
$M_{пост}$	-90	-63	-36	-13,5	0	4	4	2	0	-9,46	-14,92	-23,13	-27,13	-52,86	-19,68	0	17,24	34,48	-8,28	-51	-18,25	0	6	8	6	0	-12	-24	-51	-78
M_1^{ep}	-150	-95,63	-52,5	-20,63	0	7,5	10	7,5	0	-30	-22,5	-15	-7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M_2^{ep}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16,88	22,5	16,88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M_3^{ep}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-20,63	-41,25	-61,88	-82,5	-35,63	0	30	40	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M_4^{ep}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,16	10,31	15,47	20,63	10,31	0	-10,31	-20,63	-39,38	-52,5	-20,63	0	7,5	10	7,5	0	-20,63	-52,5	-95,63	-150
M_{max}	-90	-63	-36	-13,5	0	11,5	14	9,5	0	-9,46	7,12	9,68	5,22	-32,23	-9,37	0	47,24	74,48	21,72	-51	-18,25	0	13,5	18	13,5	0	-12	-24	-51	-78
M_{min}	-240	-155,63	-88,5	-34,43	0	4	4	2	0	-39,46	-58,05	-79,38	-96,51	-135,36	-55,31	0	6,93	13,85	-31,1	-103,5	-38,88	0	6	8	6	0	-32,63	-76,5	-146,63	-228

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УМКД Строительная механика. Методические указания

Разработали:
Мальков Н.М., Аветян Л.В.

Идентификационный номер:

Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений

Лист 76 из 89

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 61 из 89

Подберем сечения элементов в форме прокатного двутавра из стали с расчетным сопротивлением $R_y = 240 \text{ МПа}$:

элемент $A - B$: требуемый момент сопротивления

$$W_x^{mp} = \frac{M_p}{R_y} = \frac{240 \cdot 100}{24} = 1000 \text{ см}^2, \text{ подбираем двутавр } \text{№} 45, \text{ у которого фактический}$$

момент сопротивления $W_x^\phi = 1220 \text{ см}^2$;

элемент $B - C$: требуемый момент сопротивления

$$W_x^{mp} = \frac{M_p}{R_y} = \frac{14 \cdot 100}{24} = 58,33 \text{ см}^2, \text{ подбираем двутавр } \text{№} 12, W_x^\phi = 58,4 \text{ см}^2;$$

элемент $C - G$: требуемый момент сопротивления

$$W_x^{mp} = \frac{M_p}{R_y} = \frac{135,36 \cdot 100}{24} = 564 \text{ см}^2, \text{ подбираем двутавр } \text{№} 33, W_x^\phi = 597 \text{ см}^2;$$

элемент $G - K$: требуемый момент сопротивления

$$W_x^{mp} = \frac{M_p}{R_y} = \frac{103,5 \cdot 100}{24} = 431,3 \text{ см}^2, \text{ подбираем двутавр } \text{№} 30, W_x^\phi = 472 \text{ см}^2;$$

элемент $K - M$: требуемый момент сопротивления

$$W_x^{mp} = \frac{M_p}{R_y} = \frac{18 \cdot 100}{24} = 75 \text{ см}^2, \text{ подбираем двутавр } \text{№} 14, W_x^\phi = 81,7 \text{ см}^2;$$

элемент $M - N$: требуемый момент сопротивления

$$W_x^{mp} = \frac{M_p}{R_y} = \frac{228 \cdot 100}{24} = 950 \text{ см}^2, \text{ подбираем двутавр } \text{№} 45, W_x^\phi = 1220 \text{ см}^2.$$

2.4. Расчет неразрезных балок

Неразрезной балкой называется статически неопределимая балка, имеющая более двух опор. Если в любой статически определимой шарнирно-консольной балке заменить шарнирные соединения жесткими связями («убрать» шарниры), то она превратится в неразрезную балку. Таким образом, для любой шарнирно-консольной балки можно получить соответствующую ей неразрезную балку.

Рассчитать неразрезную балку можно «вручную», применяя методы расчета статически неопределимых систем (метод сил или метод перемещений) или табличный метод расчета с помощью специальных таблиц (этот метод применим только для балок с равными пролетами и несложной регулярной нагрузкой). Можно также рассчитать неразрезную балку применяя специальные программы для расчета стержневых систем.

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 60 из 89

В курсовом проекте неразрезную балку необходимо рассчитать с помощью программы **FastFrame**, навыки работы с которой студенты получили в курсе «Информатики».

Последовательность расчета неразрезной балки такая же как и шарнирно-консольной балки, то есть балка рассчитывается на действие постоянной нагрузки и временной нагрузки, прикладываемой последовательно в каждом пролете и крайних консолях. На рис. 32 приведены эпюры моментов от загрузения неразрезной балки постоянной и временной нагрузками, распечатанными в редакторе программы **FastFrame**. В таблице 3 приведены результаты расчета балки выполненной программой **FastFrame**. Если задаться знаком эпюры моментов, считать, например, что «плюс» соответствует растяжению нижних волокон, то в распечатке результатов верный знак будет у второго столбца, показывающего знак концевого сечения рассматриваемого участка.

В таблице 4 приведен подсчет ординат объемлющей эпюры моментов для неразрезной балки. Объемлющая эпюра моментов неразрезной балки приведена на рис. 33.

Определим расчетные моменты для каждого элемента неразрезной балки, соответствующего элементу шарнирно-консольной балки:

элемент $A - B$: $M_{расч} = 105,89 \text{ кНм}$; элемент $B - C$: $M_{расч} = 55,56 \text{ кНм}$;

элемент $C - G$: $M_{расч} = 80,19 \text{ кНм}$; элемент $G - K$: $M_{расч} = 124 \text{ кНм}$;

элемент $K - M$: $M_{расч} = 66,66 \text{ кНм}$; элемент $M - N$: $M_{расч} = 121,8 \text{ кНм}$.

Подберем сечения элементов также в форме прокатного двутавра из стали с расчетным сопротивлением $R_y = 240 \text{ МПа}$:

элемент $A - B$: требуемый момент сопротивления

$$W_x^{mp} = \frac{Mp}{R_y} = \frac{111,42 \cdot 100}{24} = 465 \text{ см}^2, \text{ подбираем двутавр } \text{№ } 30, \text{ у которого}$$

фактический момент сопротивления $W_x^\phi = 472 \text{ см}^2$;

элемент $B - C$: требуемый момент сопротивления

$$W_x^{mp} = \frac{Mp}{R_y} = \frac{59,61 \cdot 100}{24} = 249 \text{ см}^2, \text{ подбираем двутавр } \text{№ } 24, W_x^\phi = 289 \text{ см}^2;$$

элемент $C - G$: требуемый момент сопротивления

$$W_x^{mp} = \frac{Mp}{R_y} = \frac{79,35 \cdot 100}{24} = 331 \text{ см}^2, \text{ подбираем двутавр } \text{№ } 27, W_x^\phi = 371 \text{ см}^2;$$

элемент $G - K$: требуемый момент сопротивления

$$W_x^{mp} = \frac{Mp}{R_y} = \frac{124,23 \cdot 100}{24} = 518 \text{ см}^2, \text{ подбираем двутавр } \text{№ } 30a, W_x^\phi = 518 \text{ см}^2;$$

элемент $K - M$: требуемый момент сопротивления

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 60 из 89

$$W_x^{mp} = \frac{Mp}{R_y} = \frac{66,59 \cdot 100}{24} = 278 \text{ см}^2,$$

подбираем двутавр № 24, $W_x^\phi = 289 \text{ см}^2$;

элемент $M - N$: требуемый момент сопротивления

$$W_x^{mp} = \frac{Mp}{R_y} = \frac{121,74 \cdot 100}{24} = 508 \text{ см}^2, \text{ подбираем двутавр №30а, } W_x^\phi = 518 \text{ см}^2.$$

2.5. Сравнение результатов расчета шарнирно-консольной и соответствующей ей неразрезной балок

Составим таблицу сравнения результатов расчета двух балок, в которую занесем параметры подобранных из условия прочности соответствующих элементов двух балок. Таблица 4 представлена на стр. 30.

Анализируя полученные результаты и сравнивая объемлющие эпюры для двух балок можно сделать следующие выводы:

- 1. В неразрезной балке изгибающие моменты, растягивающие верхние и нижние волокна по длине балки распределяются более равномерно, чем в шарнирно-консольной балке, что приводит к снижению расчетных моментов для большинства элементов.**
- 2. Общий вес у неразрезной балки меньше, чем у шарнирно-консольной балки, следовательно, она является более экономичной.**

2.5. Оформление курсовой работы

Пояснительная записка к курсовой работе должна быть оформлена в соответствии с правилами оформления курсовой работы на листах формата А4 и содержать титульный лист с указанием вуза, института, кафедры, названия работы, автора, проверяющего преподавателя, города и года выполнения работы; задания на курсовую работу; содержания с указанием разделов и страниц. Записка может быть написана на каждой странице или на одной странице каждого листа. Уравнения статики записываются вначале в общем виде, затем в них подставляются значения сил, плеч, функций углов наклона. Вычисления усилий производятся с точностью до третьего знака, окончательный результат округляется до второго знака после запятой.

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 61 из 89

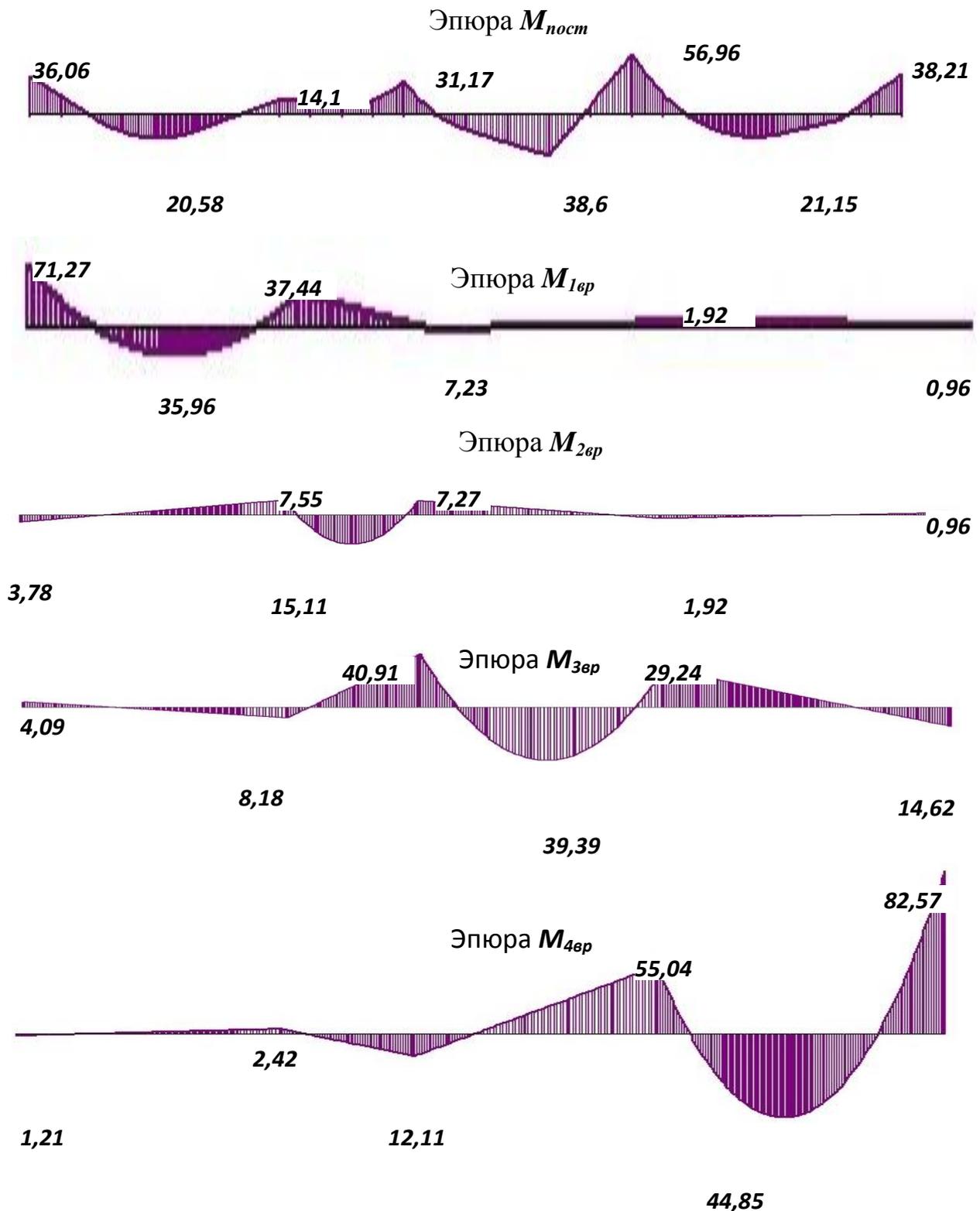


Рис. 30. Эпюры моментов от постоянной нагрузки и временной нагрузки в каждом пролете для неразрезной балки построенных в программе *FastFrame*

Таблица 3

Подсчет ординат объемлющей эпюры моментов неразрезной балки

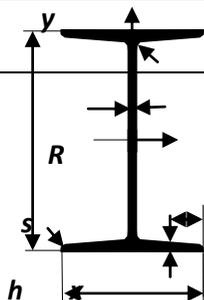
№ сечений Эпюры M	Эпюры M																													
	A	I	2	3	B	4	5	6	C	D	7	8	9	E	10	G	11	12	13	H	14	K	15	16	17	M	18	19	20	N
$M_{пост}$	-36,06	-17,06	1,93	16,43	21,92	20,58	15,25	7,91	0,58	-14,1	-11,61	-9,13	-13,4	-31,17	-1,75	14,16	26,38	38,6	-9,18	-56,96	-19,43	4,6	14,12	19,64	21,15	18,67	11,95	5,23	-16,49	-38,21
M_1^{ep}	-71,27	-27,67	4,68	-25,78	35,64	35,96	31,28	21,6	1,92	-37,44	-26,78	-15,78	-3,94	7,23	5,98	4,33	3,07	1,41	-0,25	-1,92	-1,58	-1,25	-1,03	-0,81	-0,59	-0,37	-0,04	0,29	0,63	0,96
M_2^{ep}	3,78	2,36	0,94	-0,47	-1,89	-2,83	-3,78	-4,72	-5,67	-7,55	9,4	15,11	9,57	-7,27	-5,98	-4,33	-3,07	-1,41	0,25	1,92	1,58	1,25	1,03	0,81	0,59	0,37	0,04	-0,29	-0,63	-0,96
M_3^{ep}	-4,09	-2,56	-1,02	0,51	2,05	3,07	4,09	5,11	6,14	8,18	-4,09	-16,37	-28,64	-40,91	-3,7	22,27	39,39	36,51	13,63	-29,24	-24,18	-19,12	-15,75	-12,57	-9,0	-5,63	-0,56	4,5	9,56	14,62
M_4^{ep}	1,21	0,76	0,30	-0,15	-0,61	-0,91	-1,21	-1,51	-1,82	-2,42	1,21	4,24	8,48	12,11	5,53	-1,04	-9,81	-18,58	-27,34	-36,11	1,0	26,87	37,86	43,85	44,85	40,84	-25,45	-1,18	-59,06	-82,57
M_{max}	-31,07	-13,94	7,85	42,72	59,61	59,61	50,62	34,62	8,64	-5,93	-1,0	10,12	4,65	-11,83	9,76	41,36	68,84	76,52	4,7	-55,04	-16,85	32,72	53,01	64,3	66,59	59,88	37,44	10,02	-6,3	-22,63
M_{min}	-111,42	-47,29	0,91	15,81	19,42	16,84	10,26	1,68	-6,91	-61,51	-42,48	-41,28	-45,98	-79,35	-11,43	8,79	13,5	18,61	-46,77	-124,23	-45,19	-15,77	-2,66	6,26	11,56	12,67	-11,35	3,76	-76,18	-121,74

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УМКД Строительная механика. Методические указания			
Разработали: Мальков Н.М., Аветян Л.В.	Идентификационный номер:	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 64 из 89

Таблица сравнения результатов расчета шарнирно-консольной и соответствующей ей неразрезной балок

МЕНТ	Дли- на l (м)	<i>Шарнирно-консольная балка</i>						<i>Неразрезная балка</i>						
		$M_{расч}$ (кНм)	$W_x^{треб}$ (см ³)	$W_x^{факт}$ (см ³)	<i>сечение</i>	t (кг/м)	Q (кг)	$M_{расч}$ (кНм)	$W_x^{треб}$ (см ³)	$W_x^{факт}$ (см ³)	<i>сечение</i>	t (кг/м)	Q (кг)	
A - B	6	240	1000	1220	двутавр № 45	65,2	391,2	111,42	465	472	двутавр № 30	36,5	219	
B - C	4	14	58,33	58,4	двутавр № 12	11,5	46	59,61	249	232	двутавр № 24	27,3	109,2	
C - G	11	135,36	564	597	двутавр № 33	42,2	464,2	79,35	331	371	двутавр № 27	31,5	346,5	
G - K	11	103,5	432	472	двутавр № 30	36,5	401,5	124,23	518	518	двутавр № 30а	39,2	431,2	
K - M	4	18	75	81,7	двутавр № 14	13,7	54,8	66,59	278	289	двутавр № 24	27,3	109,2	
M - N	6	228	950	1220	двутавр № 45	65,2	391,2	121,74	508	518	двутавр № 30а	39,2	235,2	
Общий вес балки							1749	Общий вес балки						1451

ы стальные
катаные.
АМЕНТ
8239-89



Двутавры стальные

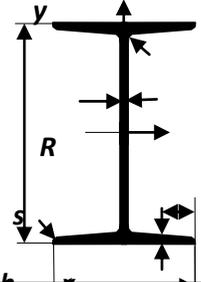
горячекатаные.

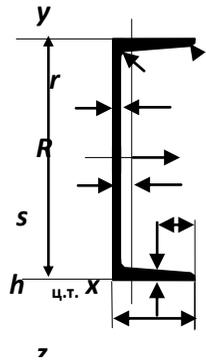
СОРТАМЕНТ

ГОСТ 8239-89

(обозначения на рисунке)

Номер профиля	Двутавры стальные горячекатаные. СОРТАМЕНТ ГОСТ 8239-89 (обозначения на рисунке)						Площадь сечения	Масса одно го метра	Момент инерции сечения относительно оси, см ⁴		Момент сопротивления относительно оси, см ³		Радиус инерции относительно оси, см		Статический момент полусечения относительно оси X см ³
	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>s</i>	<i>t</i>	<i>R</i>	<i>r</i>			см ²	кг	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	
10	100	55	4,5	7,2	7,0	2,5	12,0	9,46	198	17,9	39,7	6,49	4,06	1,22	23,0
12	120	64	4,8	7,3	7,5	3,0	14,7	11,5	350	27,9	58,4	8,72	4,88	1,38	33,7
14	140	73	4,9	7,5	8,0	3,0	17,4	13,7	572	41,9	81,7	11,5	5,73	1,55	46,8
16	160	81	5,0	7,8	8,5	3,5	20,2	15,9	673	58,6	109	14,5	6,57	1,70	62,3
18	180	90	5,1	8,1	9,0	3,5	23,4	18,4	1290	82,6	143	18,4	7,42	1,88	81,4
18a	180	100	5.1	8.3	9.0	3.5	25.4	19.9	1430	114	159	22.8	7.51	2.12	89.8
20	200	100	5,2	8,4	9,5	4,0	26,8	21,0	1840	115	184	23,1	8,28	2,07	104
20a	200	110	5.2	8.6	9.5	4.0	28.9	22.7	2030	155	203	28.2	8.37	2.32	114
22	220	110	5,4	8,7	10,0	4,0	30,6	24,0	2550	157	232	28,6	9,13	2,27	131
22a	220	120	5.4	8.9	10.0	4.0	32.8	25.8	2790	206	254	34.3	9.22	2.50	143
24	240	115	5,6	9,5	10,5	4,0	34,8	27,3	3460	198	289	34,2	9,97	2,37	163
24a	240	125	5.6	9.8	10.5	4.0	37.5	29.4	3800	260	317	41.6	10.1	2.63	178
27	270	125	6,0	9,8	11,0	4,5	40,2	31,5	5010	260	371	41,5	11,2	2,54	210
27a	270	135	6.0	10.2	11.0	4.5	43.2	33.9	5500	337	407	50.0	11.3	2.80	229

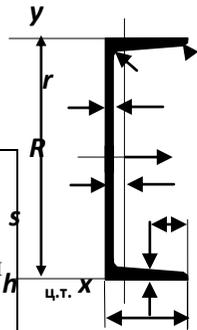
Номер профиля							Площадь сечения	Масса одного метра	Момент инерции		Момент сопротивления		Радиус инерции		Статический момент полусечения относительно оси x
	Двутавры стальные горячекатаные. СОРТАМЕНТ ГОСТ 8239-89 (размеры в мм (обозначения на рисунке))								относительно оси		относительно ос		относительно оси		
	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>s</i>	<i>t</i>	<i>R</i>	<i>r</i>	см ²	кг	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	см ³
30	300	135	6,5	10,2	12,0	5,0	46,5	36,5	7080	337	472	49,9	12,3	2,69	260
30а	300	145	6,5	10,7	12,0	5,0	49,9	39,2	7780	436	518	60,1	12,5	2,95	292
33	330	140	7,0	11,2	13,0	5,0	53,8	42,2	9840	419	597	59,9	13,5	2,79	339
36	360	145	7,5	12,3	14,0	6,0	61,9	48,6	13380	516	743	71,1	14,7	2,89	423
40	400	155	8,0	13,0	15,0	6,0	71,4	56,1	18930	666	947	85,9	16,3	3,05	540
45	450	160	8,6	14,2	16,0	7,0	83,0	65,2	27450	807	1220	101	18,2	3,12	699
50	500	170	9,5	15,2	17,0	7,0	97,8	76,8	39290	1040	1570	122	20,0	3,26	905
55	550	180	10,3	16,5	18,0	7,0	114,0	89,8	55150	1350	2000	150	22,0	3,44	1150
60	600	190	11,1	17,8	20,0	8,0	132,0	104,0	75450	1720	2510	181	23,9	3,60	1450
65	650	200	12,0	19,2	22	9	153	120	101400	2170	3120	217	25,8	3,77	1800
70	700	210	13,0	20,8	24	10	176	138	134600	2730	3940	260	27,7	3,94	2230
70а	700	210	15,0	24,0	24	10	202	158	152700	3240	4360	309	27,5	4,01	2550
70б	700	210	17,5	28,2	24	10	234	184	175370	3910	5010	373	27,4	4,09	2940



Швеллеры стальные
горячекатаные.
СОРТАМЕНТ
ГОСТ 8240-89

Размеры в мм
(обозначение на рисунке)

Номер профиля	Размеры в мм (обозначение на рисунке)							Площадь сечения см ²	Масса одного метра кг	Момент инерции сечения относительно оси, см ⁴		Момент сопротивления относительно оси см ³		Момент сопротивления относительно оси, см		Статический момент полусечения относительно оси x см ³
	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>s</i>	<i>t</i>	<i>R</i>	<i>r</i>	<i>z_a</i>			<i>x</i>	<i>y</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	
5	50	32	4.4	7.0	6	2.5	11.6	6.16	4.84	22.8	5.61	9.1	2.75	1.92	0.95	5.59
6.5	65	36	4.4	7.2	6	2.5	12.4	7.51	5.90	48.6	8.70	15.0	3.68	2.54	1.08	9.00
8	80	40	4.5	7.4	6.5	2.5	13.1	8.98	7.05	89.4	12.8	22.4	4.75	3.16	1.19	23.3
10	100	46	4.5	7.6	7	3.0	14.4	10.9	8.59	174	20.4	34.8	6.46	3.99	1.37	20.4
12	120	52	4.8	7.8	7.5	3.0	15.4	13.3	10.4	304	31.2	50.6	8.52	4.78	1.53	29.6
14	140	58	4.9	8.1	8	3.0	16.7	15.6	12.3	491	45.4	70.2	11.0	5.60	1.70	40.8
14a	140	62	4.9	8.7	8.5	3.5	18.7	17.0	13.3	545	57.5	77.8	13.3	5.66	1.84	45.1
16	160	64	5.0	8.4	8.5	3.5	18.0	18.1	14.2	747	63.3	93.4	13.8	6.42	1.87	54.1
16a	160	68	5.0	9.0	8.5	3.5	20.0	19.5	15.3	823	78.8	103	16.4	6.49	2.01	59.4
18	180	70	5.1	8.7	9	3.5	19.4	20.7	16.3	1090	86.0	121	17.0	7.24	2.04	69.8
18a	180	74	5.1	9.3	9	3.5	21.3	22.2	17.4	1190	105	132	20.0	7.32	2.18	76.1



Швеллеры стальные
горячекатаные.
СОРТАМЕНТ
ГОСТ 8240-89

Номер профиля	мм (e)							Площадь сечения см ²	Масса одног о метра кг	Момент инерции сечения относительно оси, см ⁴		Момент сопротивления относительно оси см ³		Момент сопротивления относительно оси, см		Статический момент полусечения относительно оси x см ³
	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>s</i>	<i>t</i>	<i>R</i>	<i>r</i>	<i>z_a</i>			<i>x</i>	<i>y</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	
20	200	76	5.2	9.0	9.5	4.0	20.7	23.4	18.4	1520	113	152	20.5	8.07	2.20	87.8
20a	200	80	5.2	9.7	9.5	4.0	22.8	25.2	19.8	1670	139	167	24.2	8.15	2.35	95.9
22	220	82	5.4	9.5	10	4.0	22.1	26.7	21.0	2110	151	192	25.1	8.89	2.37	110
22a	220	87	5.4	10.2	10	4.0	24.6	28.8	22.6	2330	187	212	30.0	8.99	2.55	121
24	240	90	5.6	10.0	10.5	4.0	24.2	30.6	24.0	2900	208	242	31.6	9.73	2.60	139
24a	240	95	5.6	10.7	10.5	4.0	26.7	32.6	25.8	3180	254	265	37.2	9.84	2.78	151
27	270	95	6.0	10.5	11	4.5	24.7	35.2	27.7	4160	262	308	37.3	10.9	2.73	178
30	300	100	6.5	11.0	12	5.0	25.2	40.5	31.8	5810	327	387	43.6	12.0	2.84	224
33	330	105	7.0	11.7	13	5.0	25.9	46.5	36.5	7980	410	484	51.8	13.1	2.97	281
36	360	110	7.5	12.6	14	6.0	26.8	53.4	41.9	10820	513	601	61.7	14.2	3.10	350
40	400	115	8.0	13.5	15	6.0	27.5	61.5	48.3	15220	642	761	73.4	15.7	3.23	444

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
Учебно-методический комплекс дисциплины «Строительная механика»			
Разработчики: Мальков Н.М.	Идентификационный номер: УМКД -40 270800.62 –БЗ.В.ОД.4-2014	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 69_из 89

V. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

1. Дарков А.В. Строительная механика : учебник / А. В Дарков, Н. Н. Шапошников. - Изд. 12-е, стер. – СПб.: Издательство «Лань», 2014. – 655 с.
2. Константинов И.А. Строительная механика : учебник / И. А. Константинов, В. В. Лалин, И. И. Лалина ; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. – М.: КноРус, 2011. – 425 с.
3. Курс теории сооружений. Строительная механика : учебное пособие . в 3 ч. : ч. 1. Теория сооружений в инженерном деле : прил. 2 : Нагрузка и оценка эксплуатационных качеств сооружений при динамических воздействиях землетрясений и ветра / А. А. Стоценко, С. И. Доценко, Н. Я. Цимбельман [и др.] ; [отв. ред. А. А. Стоценко]. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 79 с.
4. Мальков Н.М., Аветян Л.В. Строительная механика. Методические указания к выполнению курсовой работе для специальностей 270102, 270104, 270114. / Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2008. – 42; 24 ил.
5. Русаков А.И. Строительная механика. Учебное пособие...- М.: Проспект 2009. - 360 с.

Дополнительная литература

1. Буланов, В.Е. Строительная механика: в 2 ч.: учебное пособие / В.Е. Буланов, А.Н. Гузачёв. - Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО "ТГТУ", 2012. - Ч. 1. - 80 с. <http://window.edu.ru/resource/059/80059/files/bulanov.pdf>

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
Учебно-методический комплекс дисциплины «Строительная механика»			
Разработчики: Мальков Н.М.	Идентификационный номер: УМКД -40 270800.62 –Б3.В.ОД.4-2014	Контрольный экземпляр находится на кафедре Гидротехники, теории зданий и сооружений	Лист 70_из 89

2. Карпов В.В., Сальников А.Ю. Вариационные методы и вариационные принципы механики при расчете строительных конструкций: учебное пособие. - СПб.: СПбГАСУ, 2009. - 75 с.

http://window.edu.ru/resource/222/67222/files/Karpov_Salnikov_uchebn.pdf

3. Строительная механика: Методические указания и схемы заданий к расчетно-проектировочным работам для студентов очной и безотрывной форм обучения специальности 270102 - Промышленное и гражданское строительство / Сост.: В.В. Бабанов, Е.Л. Лаппо. - СПб.: СПбГАСУ, 2007. - 36 с. http://window.edu.ru/resource/158/67158/files/Lappo_metod.pdf

4. Строительная механика. Расчет стержневых систем с использованием программы SCAD: Учебно-методический комплекс. Часть 2 / И.А. Константинов В.В. Лалин И.И. Лалина - СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. - 228 с. <http://window.edu.ru/resource/373/77373/files/sm-scad-umk2.pdf>

5. Тухфатуллин Б.А., Самсонова Р.И. Строительная механика. Расчет статически неопределимых систем: Учебное пособие. - Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2012. - 116 с. [http://window.edu.ru/resource/561/76561/files/%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F%20%D0%BC%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20\(%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%8C%20II\).pdf](http://window.edu.ru/resource/561/76561/files/%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F%20%D0%BC%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20(%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%8C%20II).pdf)