

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Шебзухова Татьяна Александровна

Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского

федерального университета

Дата подписания: 05.12.2023 11:00:23

Уникальный программный ключ:

d74ce93cd40e39275c3ba2f584804c21c3796

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт сервиса, туризма и дизайна (филиал) СКФУ в г. Пятигорске

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению практических работ по дисциплине
«Механика (теоретическая механика)»

Направление подготовки 08.03.01 Строительство

Направленность (профиль): Городское строительство и хозяйство

Степень выпускника: Бакалавр

Пятигорск, 2021

**Методические указания по выполнению практических работ по дисциплине
«Механика (теоретическая механика)» рассмотрены и утверждены на заседании
кафедры**

№ _____ «___» _____ 2021г.

Заведующий кафедрой _____

Д.К.Сысоев.

Введение

Методическое пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 Строительство, профиль подготовки «Городское строительство и хозяйство». В методическом пособии приводятся общие сведения по выполнению практических работ, в каждой практической работе приведены краткие сведения из теории, методика расчета, рекомендуемая литература.

Методическое пособие разработано на основании требований ФГОС ВО и рабочей программы по дисциплине «08.03.01 Механика (Теоретическая механика)».

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1 Система сходящихся сил.....	5
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2 Плоская система сил.....	5
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3 Фермы.....	5
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4 Пространственная система сил.....	5

Практическое занятие 1

Тема: Основные понятия и определения. Аксиомы статики

Цель: научиться определять реакции опор балки

Знать: реакции связей,

условий равновесия плоской и пространственной систем сил,

Уметь: использовать законы и методы теоретической механики как основы описания и расчетов механизмов транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования.

Формируемые компетенции:

Код	Формулировка:
ОПК-1	Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе использования теоретических и практических основ естественных и технических наук, а также математического аппарата

Актуальность темы объясняется основными принципами определения реакций возникающих в опорах реальных балок.

Теоретическая часть:

Механика изучает законы механического движения.

Теоретическая механика - раздел механики, в котором изучаются движения механических систем и общие свойства этих движений.

Теоретическая механика рассматривает абстрактные *модели* тел. *Моделями теоретической механики являются:*

- а) материальная точка;
- б) абсолютно твердое тело;
- в) механическая система.

Статика - раздел теоретической механики, в котором изучается механическое взаимодействие материальных тел между собой без учета их механического движения.

Механическое движение - изменение с течением времени взаимного положения в пространстве материальных тел или частей данного тела.

Материальной точкой называют геометрическую точку, обладающая массой.

Системой материальных точек называется такая их совокупность, в которой положение и движение каждой точки зависит от положения и движения всех остальных точек данной системы. Часто систему материальных точек называют **механической системой**. Частным случаем механической системы является абсолютно твердое тело.

Абсолютно твердым называется тело, у которого расстояние между любыми двумя точками всегда остается неизменным (т.е. это абсолютно прочное и недеформируемое тело).

Свободным называют твердое тело, движение которого не ограничено другими телами.

Несвободным называют тело, движение которого, так или иначе, ограничено другими телами. Последние в механике называются **связями**.

Силой называют меру механического действия одного тела на другое. Поскольку взаимодействие тел определяется не только своей интенсивностью, но и направлением - сила является величиной векторной и на чертежах изображается направленным отрезком (вектором). За единицу силы в системе **СИ** принят **ньютон (Н)**. Обозначают силы

$\vec{F}, \vec{P}, \vec{Q} \dots$

заглавными буквами латинского алфавита ($\vec{F}, \vec{P}, \vec{Q} \dots$). Численные значения (или модули векторных величин) будем обозначать теми же буквами, но без верхних стрелок ($F, P, Q \dots$).

Линией действия силы называется прямая, вдоль которой направлен вектор силы.

Системой сил называется любая конечная совокупность сил, действующих на механическую систему. Принято делить системы сил на **плоские** (все силы действуют в одной плоскости) и **пространственные**. Каждая из них, в свою очередь, может быть или

произвольной, параллельной (линии действия всех сил параллельны) или **системой сходящихся сил** (линии действия всех сил пересекаются в одной точке).

Таблица 1 Виды систем сил

Тип	Сходящаяся	Параллельная	Произвольная
Плоская			
Пространственная			

Вопросы и задания:

1. Сформулируйте аксиомы статики.
2. Что называется связью, наложенной на твердое тело?
3. Что называется силой реакции связи?
4. Сформулируйте принцип освобождения от связей.
5. Что называется силой реакции связи?

Перечень основной литературы:

1. Теоретическая механика / О.Н. Оруджова, А.А. Шинкарук, О.В. Гермидер, О.М. Заборская ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова. – Архангельск : САФУ, 2014. – 96 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436489> . – ISBN 978-5-261-00982-5. – Текст : электронный.

Перечень дополнительной литературы:

Ханефт, А.В. Теоретическая механика / А.В. Ханефт. – Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2012. – 110 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=232320>. – ISBN 978-5-8353-1514-7. – Текст : электронный.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

1. Электронно-библиотечная система IPRbooks Договор №5168/19 от 13 мая 2019 года

2. Электронная библиотечная система «Университетская библиотека on-line» Договор №50-04/19 от 13 мая 2019 года
3. Электронно-библиотечная система Лань Договор №Э410-19 от 22 апреля 2019 г.

Практическое занятие 2

Тема 2 Система сходящихся сил.

Цель: научиться определять реакции опор балки

Знать: реакции связей,

условий равновесия плоской и пространственной систем сил,

Уметь: использовать законы и методы теоретической механики как основы описания и расчетов механизмов транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования.

Формируемые компетенции:

Код	Формулировка:
ОПК-1	Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе использования теоретических и практических основ естественных и технических наук, а также математического аппарата

Актуальность темы объясняется основными принципами определения реакций возникающих в опорах реальных балок.

Теоретическая часть:

Две системы сил называются **эквивалентными**, если их действия на механическую систему одинаково (т.е. замена одной системы сил на другую не изменяет характера движения механической системы).

Если некоторая система сил эквивалентна одной силе, то эта сила называется **равнодействующей** данной системы сил. Отметим, что далеко не всякая система сил имеет равнодействующую. Сила, равная равнодействующей по величине, противоположная ей по направлению и действующая вдоль той же прямой, называется **уравновешивающей** силой.

Система сил, под действием которой свободное твердое тело находится в покое или движется равномерно и прямолинейно, называется **уравновешенной** или **эквивалентной нулю**.

Для того чтобы система сил находилась в равновесии необходимо и достаточно, чтобы выполнялись условия равновесия этой системы сил.

Необходимым и достаточным условием равновесия системы сил является равенство нулю главного вектора и главного момента системы сил:

С учетом выражения главного вектора и главного момента системы сил эти равенства можно записать в виде:

$$\sum_{i=1}^N \bar{F}_i = 0; \quad \sum_{i=1}^N M_O(\bar{F}_i) = 0,$$

где i - индекс суммирования; N - число сил, входящих в систему.

При решении задач вместо этих векторных условий используются скалярные условия, получающиеся из них при проектировании на оси декартовой системы координат (таблица 2).

Таблица 2 Основная форма аналитических условий равновесия

Системы сил	Сходящиеся	Параллельная	Произвольная
-------------	------------	--------------	--------------

Плоская	$\sum_{i=1}^n \bar{F}_{ix} = 0;$ $\sum_{i=1}^n \bar{F}_{iy} = 0;$	$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \bar{F}_{ij}^{(x)} = 0;$ $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \bar{F}_{ij}^{(y)} = 0;$	$\sum_{i=1}^n \bar{F}_{ix} = 0;$ $\sum_{i=1}^n \bar{F}_{iy} = 0;$ $\sum_{i=1}^n \bar{F}_{iz} = 0;$
Пространственная	$\sum_{i=1}^n \bar{F}_{ix} = 0;$ $\sum_{i=1}^n \bar{F}_{iy} = 0;$ $\sum_{i=1}^n \bar{F}_{iz} = 0.$	$\sum_{i=1}^n \bar{F}_{ix} = 0;$ $\sum_{i=1}^n \bar{F}_{iy} = 0.$ $\sum_{i=1}^n \bar{F}_{iz} = 0;$	$\sum_{i=1}^n \bar{F}_{ix} = 0;$ $\sum_{i=1}^n \bar{F}_{iy} = 0;$ $\sum_{i=1}^n \bar{F}_{iz} = 0;$

Внутренними силами называют силы взаимодействия между материальными точками одной механической системы.

Внешние силы - это силы взаимодействия точек данной механической системы с материальными точками другой системы.

Сила, приложенная к телу в какой-либо одной его точке, называется **сосредоточенной**.

Силы, действующие на все точки данного объема или данной части поверхности тела, называются **распределенными** (по объему и по поверхности соответственно).

Силовые характеристики механического воздействия на тело приведены в таблице 3.

Таблица 3 Силовые характеристики механического воздействия

Наименование	Условное изображение	Определение действия на тело
--------------	----------------------	------------------------------

Сосредоточенная сила		1) Числовым значением или модулем силы; 2) Линией действия силы (изображается прямой, вдоль которой направлен вектор силы); 3) Точкой приложения силы.
Момент пары сил		1) Числовым значением или модулем момента пары сил; 2) Плоскостью пары сил, проведенной через линии действия сил пары; 3) Направлением вращения пары сил.
Распределенная нагрузка	 	1) Интенсивностью; 2) Длиной участка, на котором приложена распределенная нагрузка; 3) Направлением ее действия.

Связи.

Связями называют заранее заданные ограничения, налагаемые на положение (в общем случае на движение) тел механической системы. Если на тело не наложено никаких связей, то тело называется *свободным*.

Свободное тело на плоскости обладает 3-мя степенями свободы (два линейных перемещения и угол поворота), а в пространстве 6-ю (три линейных перемещения и три угла поворота).

Степень свободы – число независимых параметров, определяющих положение системы относительно земли.

В механике используют аксиому о связях или принцип освобождаемости (см. ниже): всякое несвободное тело можно рассматривать как свободное, если отбросить связи и заменить их действие реакциями связей.

Каждая связь обладает статической и кинематической характеристикой. Статическая характеристика – вид и количество реакций, которыми можно заменить связь.

Кинематическая характеристика – число степеней свободы, уничтожаемых связью.

Вопросы и задания:

- Сформулируйте аксиомы статики.
- Что называется связью, наложенной на твердое тело?
- Что называется силой реакции связи?
- Сформулируйте принцип освобождаемости от связей.
- Что называется силой реакции связи?

Перечень основной литературы:

1. Теоретическая механика / О.Н. Оруджова, А.А. Шинкарук, О.В. Гермидер, О.М. Заборская ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова. – Архангельск : САФУ, 2014. – 96 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436489> . – ISBN 978-5-261-00982-5. – Текст : электронный.

Перечень дополнительной литературы:

Ханефт, А.В. Теоретическая механика / А.В. Ханефт. – Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2012. – 110 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=232320>. – ISBN 978-5-8353-1514-7. – Текст : электронный.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

1. Электронно-библиотечная система IPRbooks Договор №5168/19 от 13 мая 2019 года
2. Электронная библиотечная система «Университетская библиотека on-line» Договор №50-04/19 от 13 мая 2019 года
3. Электронно-библиотечная система Лань Договор №Э410-19 от 22 апреля 2019 г.

Практическое занятие 3

Тема 3 Плоская система сил.

Цель: научить определять и складывать сходящиеся силы.

Знать: теории пар сил

Уметь: применять знания, полученные по теоретической механике при изучении дисциплин профессионального цикла;

Формируемые компетенции:

Код	Формулировка:
ОПК-1	Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе использования теоретических и практических основ естественных и технических наук, а также математического аппарата

Актуальность темы объясняется основными принципами определения и сложения реакций возникающих в сходящихся системах.

Теоретическая часть:

Геометрическая сумма произвольной системы сил называется главным вектором этой системы сил, т.е.:

$$\vec{R} = \sum \vec{F}_k.$$

Понятие главного вектора нельзя путать с понятием равнодействующей. Равнодействующая - это сила, эквивалентная по действию на тело всей системе сил, с вполне определенной линией действия. Главный вектор - это формально вычисленная геометрическая сумма всех сил системы и, являясь свободным вектором, может быть приложена в любой точке тела. Но если некоторая система имеет равнодействующую, то она численно равна и параллельна главному вектору этой системы. Например, к таким системам относятся все системы сходящихся сил.

Для равновесия тела, находящегося под действием системы сходящихся сил, необходимо и достаточно, чтобы равнодействующая (а, следовательно и главный вектор данной системы сил) были равны нулю.

Условия, которым при этом должны удовлетворять силы системы, можно выразить в геометрической и в аналитической форме.

Геометрические условия равновесия.

Для равновесия системы сходящихся сил необходимо и достаточно, чтобы силовой многоугольник, построенный из сил системы, был замкнутым. Это означает равенство нулю равнодействующей и главного вектора данной системы сил. Напомним, что векторная сумма - это вектор, соединяющий конец последнего из слагаемых векторов с началом первого из них.

Аналитические условия равновесия.

Очевидно [см. формулы (1.1)], что равнодействующая системы сходящихся сил и ее главный вектор будут равны нулю, если суммы проекций всех сил на координатные оси будут равны нулю, т.е.

$$\sum F_{kx} = 0, \quad \sum F_{ky} = 0, \quad \sum F_{kz} = 0. \quad (1.2)$$

Равенства (1.2) выражают условия равновесия системы сходящихся сил в аналитической форме.

3. Теорема о трех силах

Если твердое тело находится в равновесии под действием трех непараллельных сил, лежащих в одной плоскости, то линии действия этих сил пересекаются в одной точке.

Доказательство.

Так как по условию теоремы все три силы непараллельны, перенесем две любые из них в точку пересечения их линий действий (на рис 1.11 силы A' и $A@$ переносятся в точку E) и

заменим равнодействующей $\vec{T}_M$. Поскольку тело по условию находится в равновесии, а операция по переносу сил вдоль линий их действия и последующего сложения этого равновесия не нарушит, то линия действия третьей силы $A\#$ должна пройти через точку E в соответствие с первой аксиомой статики.

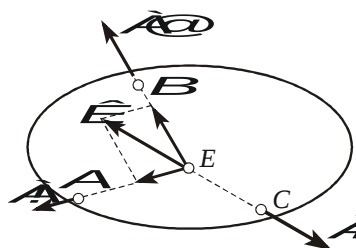


Рис. 1.11. К доказательству теоремы о трех силах

3. Реакции геометрических связей

Сила, с которой данная связь действует на тело, препятствуя его перемещению, называется силой реакции связи или просто реакцией связи. Значения реакций связей определяются в процессе решения соответствующей задачи механики. Направлена же реакция связи в сторону, противоположную той, куда связь не дает перемещаться телу. Ниже представлены наиболее часто встречающиеся типы связей и направления их реакций.

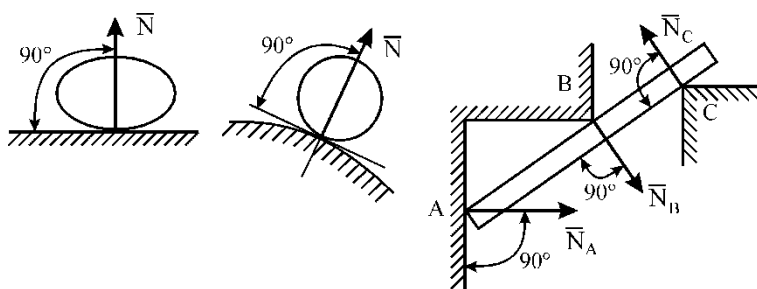


Рис. 1.12

Гладкая плоскость (поверхность или опора) (рис. 1.12). Реакция $\vec{N}$ гладкой поверхности или опоры направлена по общей нормали к поверхностям соприкасающихся тел в точке их касания и приложена в этой точке.

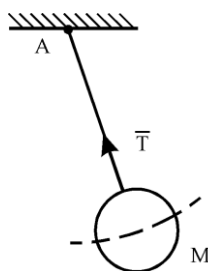


Рис. 1.13

Нить (канат, цепь, ремень, трос). Связь, осуществленная в виде гибкой нерастяжимой нити (рис. 1.13), не дает телу M удаляться от точки подвеса нити по направлению AM . Поэтому

реакция $\vec{T}$ натянутой нити направлена вдоль нее от тела к точке подвеса.

Неподвижный цилиндрический шарнир или подшипник (шарнирно-неподвижная опора). Цилиндрическим шарниром (рис. 1.14) называется совокупность неподвижной обоймы (втулки) 1 и помещенного в нее валика (пальца) 2, жестко соединенного с телом 3. В точке C соприкосновения втулки с валиком возникает сила опорной реакции, направленная

по нормали к идеально гладким поверхностям. Эта нормаль проходит через геометрический центр A валика. Так как положение точки C соприкосновения валика со втулкой заранее не известно, то невозможно сразу указать направление силы реакции $\vec{R}$, но можно утверждать, что линия действия реакции $\vec{R}$ всегда пройдет через центр A шарнира. На расчетных схемах шарнирно-неподвижная опора условно изображается так, как показано на рис. 1.15.

Неизвестную по модулю и направлению реакцию $\vec{R}_A$ при решении задач представляют в виде двух ее взаимноперпендикулярных составляющих $\vec{R}_{A\delta}$ и $\vec{R}_{A\phi}$. После определения их значений находят значение реакции $\vec{R}_A$ и ее направление:

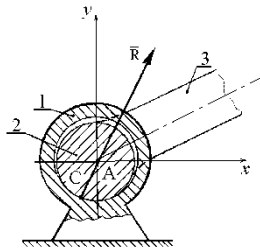


Рис. 1.14

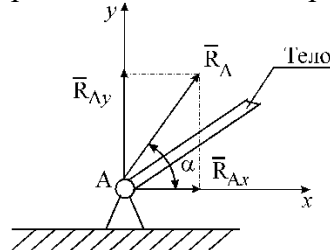


Рис. 1.15

$$R_A = \sqrt{R_{A\delta}^2 + R_{A\phi}^2}, \quad \cos \alpha = \frac{R_{A\delta}}{R_A}.$$

Шарнирно-подвижная опора (опора на катках). Реакция $\vec{R}$ такой связи проходит через центр шарнира (рис.1.16) и направлена перпендикулярно к опорной

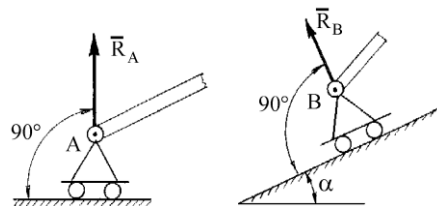


Рис. 1.16

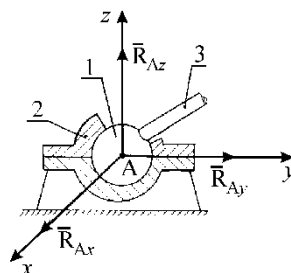


Рис. 1.17

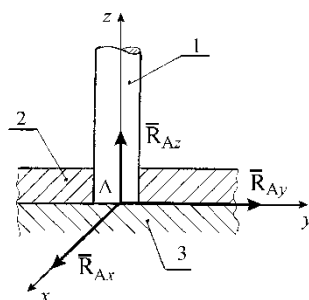


Рис. 1.18

Сферический шарнир (рис. 1.17). Сферическим шарниром называется устройство, выполненное в виде двух контактирующих сфер, геометрический центр A которых неподвижен. Тело 3, равновесие которого рассматривается, жестко связано с внутренней

подвижной сферой 1. При условии, что сферические поверхности гладкие, реакция $\vec{R}_A$ направлена по нормали к этим поверхностям и проходит через центр A сферы. На расчетных схемах реакцию $\vec{R}_A$ представляют в виде трех ее взаимно-перпендикулярных составляющих $\vec{R}_{Ax}$, $\vec{R}_{Ay}$ и $\vec{R}_{Az}$, направленных вдоль координатных осей.

Подпятник (рис. 1.18). Подпятник представляет собой соединение цилиндрического шарнира 2 и опорной плоскости 3, на которую опирается вал 1. Реакция подшипника, лежащая в плоскости перпендикулярной оси вала, представляется двумя ее взаимно-перпендикулярными составляющими $\vec{R}_{Ax}$ и $\vec{R}_{Ay}$, а реакция опорной плоскости – реакцией $\vec{R}_{Az}$, направленной по нормали к этой плоскости.

Невесомый стержень (рис. 1.19). Реакция $\vec{S}$ прямолинейного невесомого (идеального) стержня направлена вдоль этого стержня. Если связью является криволинейный стержень, то реакция направлена вдоль прямой AB , соединяющей концевые шарниры A и B .

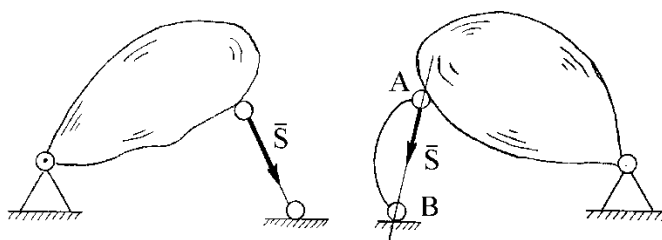


Рис. 1.19

Жесткая заделка (неподвижное защемление) конца балки (рис. 1.20). Такая связь не допускает не только линейных перемещений балки 1 вдоль координатных осей, но и вращения балки в плоскости xAy .

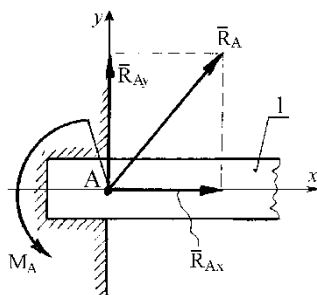


Рис. 1.20

Нахождение реакций жесткой заделки сводится к определению трех неизвестных величин:

составляющих $\vec{R}_{A\delta}$ и $\vec{R}_{A\lambda}$ реакции $\vec{R}_A$ и так называемого реактивного момента M_A , препятствующего вращению балки в плоскости xAy вокруг точки A .

Вопросы и задания:

1. Что называется равнодействующей системы сил?
2. Как сложить силы:
 - а) геометрически,
 - б) аналитически?
3. Как разложить силу по двум заданным направлениям?
4. Проецирование реакций на оси координат?

Перечень основной литературы:

1. Теоретическая механика / О.Н. Оруджова, А.А. Шинкарук, О.В. Гермидер, О.М. Заборская ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова. – Архангельск : САФУ, 2014. – 96 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436489> . – ISBN 978-5-261-00982-5. – Текст : электронный.

Перечень дополнительной литературы:

Ханефт, А.В. Теоретическая механика / А.В. Ханефт. – Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2012. – 110 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=232320>. – ISBN 978-5-8353-1514-7. – Текст : электронный.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

1. Электронно-библиотечная система IPRbooks Договор №5168/19 от 13 мая 2019 года
2. Электронная библиотечная система «Университетская библиотека on-line» Договор №50-04/19 от 13 мая 2019 года
3. Электронно-библиотечная система Лань Договор №Э410-19 от 22 апреля 2019 г.

Практическое занятие 4

Тема 4 Фермы.

Цель: научить определять и складывать сходящиеся силы.

Знать: теории пар сил

Уметь: применять знания, полученные по теоретической механике при изучении дисциплин профессионального цикла;

Формируемые компетенции:

Код	Формулировка:
ОПК-1	Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе использования теоретических и практических основ естественных и технических наук, а также математического аппарата

Актуальность темы объясняется основными принципами определения и сложения реакций возникающих в сходящихся системах.

Теоретическая часть:

Последовательность решения задачи:

1. Выбрать тело (точку), равновесие которого следует рассматривать.
2. Освободить тело (шарнир B) от связей и изобразить действующие на него активные силы и реакции отброшенных связей. Причем реакции стержней следует направить от шарнира B , так как принято предполагать, что стержни растянуты.
3. Выбрать оси координат и составить уравнения равновесия, используя условия равновесия системы сходящихся сил на плоскости $\sum X_i = 0$; $\sum Y_i = 0$. Выбирая оси координат, следует учитывать, что полученные уравнения будут решаться проще, если одну из осей направить перпендикулярно одной из неизвестных сил.
4. Определить реакции стержней из решения указанной системы уравнений.
5. Проверить правильность полученных результатов, решив уравнения равновесия относительно заново выбранных координат x и y .

Пример 1. Определить реакции стержней, удерживающих грузы $F_1 = 70$ кН и $F_2 = 100$ кН (рис. 1). Массой стержней пренебречь.

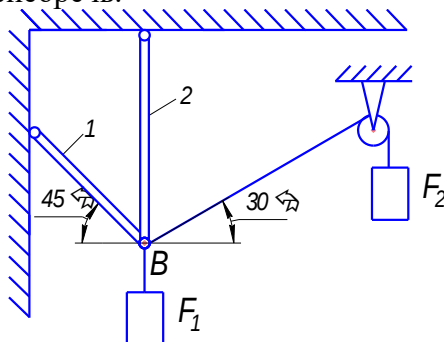


Рисунок 1

Решение.

1. Рассматриваем равновесие шарнира B (рис. 1).

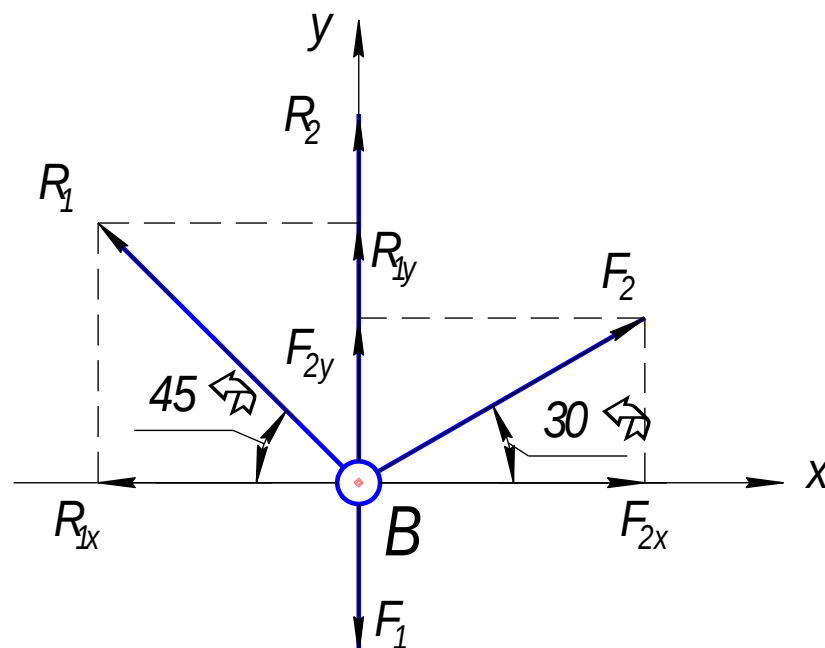


Рисунок Освобождаем шарнир B от связей и изображаем действующие на него активные силы и реакции связей (рис. 2).

3. Выбираем систему координат, совместив ось y по направлению с реакцией R_2 (рис. 2) и составляем уравнения равновесия для системы сил, действующих на шарнир B (приравниваем к нулю суммы проекций всех сил на координатные оси):

$$\sum X_i = -R_{1x} + F_{2x} = -R_1 \cdot \cos 45^\circ + F_2 \cdot \cos 30^\circ = 0; \quad (1)$$

$$\sum Y_i = R_{1y} + R_2 + F_{2y} - F_1 = R_1 \cdot \sin 45^\circ + R_2 + F_2 \cdot \sin 30^\circ - F_1 = 0. \quad (2)$$

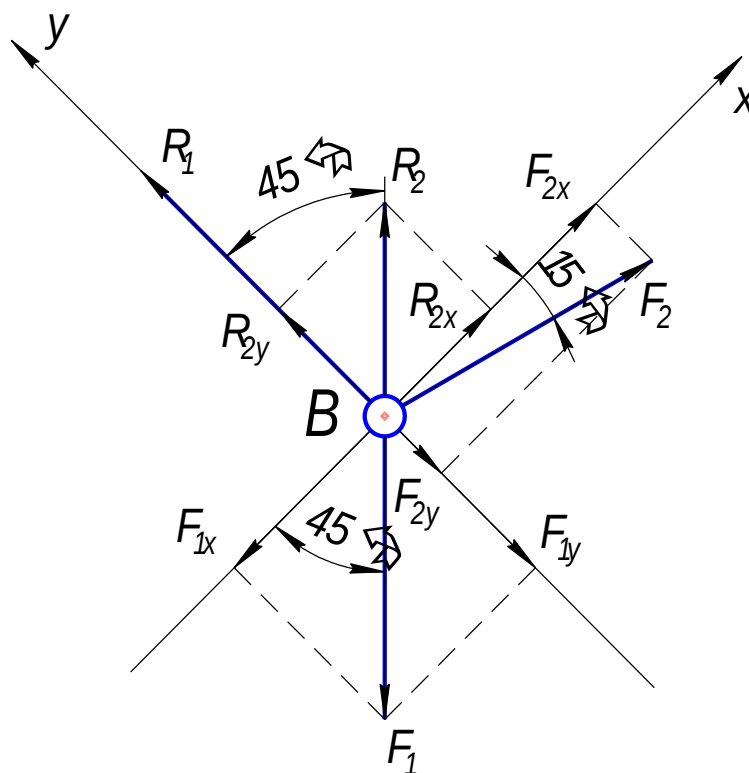
4. Определяем реакции стержней R_1 и R_2 , решая уравнения (1), (2). Из уравнения (1)

$$R_1 = \frac{F_2 \cdot \cos 30^\circ}{\cos 45^\circ} = \frac{100 \cdot 0,866}{0,707} = 122 \text{ кН.}$$

Подставляя найденное значение R_1 в уравнение (2), получаем

$$R_2 = F_1 - F_2 \cdot \sin 30^\circ - R_1 \cdot \cos 45^\circ = 70 - 100 \cdot 0,5 - 122 \cdot 0,707 = -66,6 \text{ кН.}$$

Знак минус перед значением R_2 указывает на то, что истинное направление реакции будет противоположно первоначально предполагаемому направлению, изображенному на рис. 2, т.е. реакция в действительности R_2 направлена к шарниру B .



Рисунок

Проверяем правильность полученных результатов, выбрав новое расположение осей координат x и y (рис. 3). Относительно этих осей составляем уравнения равновесия:

$$\sum X_i = R_{2x} + F_{2x} - F_{1x} = R_2 \cdot \cos 45^\circ + F_2 \cdot \cos 15^\circ - F_1 \cdot \cos 45^\circ = 0; \quad (3)$$

$$\sum Y_i = R_1 - F_{1y} + R_{2y} - F_{2y} = R_1 - F_1 \cdot \cos 45^\circ + R_2 \cdot \cos 45^\circ - F_2 \cdot \cos 75^\circ = 0. \quad (4)$$

Из уравнения (3) находим

$$R_2 = \frac{F_1 \cdot \cos 45^\circ + F_2 \cdot \cos 15^\circ}{\cos 45^\circ} = \frac{70 \cdot 0,707 + 100 \cdot 0,965}{0,707} = -66,6 \text{ кН}.$$

Подставляя найденное значение R_2 в уравнение (4), получаем

$$R_1 = F_1 \cdot \cos 45^\circ - R_2 \cdot \cos 45^\circ + F_2 \cdot \cos 75^\circ = 70 \cdot 0,707 + 66,6 \cdot 0,707 + 100 \cdot 0,258 = 122 \text{ кН}.$$

Значения реакций R_1 и R_2 , полученные при решении уравнений (1) и (2), совпадают по величине и направлению со значениями, найденными из уравнений (3) и (4), следовательно, задача решена правильно.

Вопросы и задания:

5. Что называется равнодействующей системы сил?
6. Как сложить силы:
 - а) геометрически,
 - б) аналитически?
7. Как разложить силу по двум заданным направлениям?
8. Проецирование реакций на оси координат?

Перечень основной литературы:

1. Теоретическая механика / О.Н. Оруджова, А.А. Шинкарук, О.В. Гермидер, О.М. Заборская ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова. – Архангельск : САФУ, 2014. – 96 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. –

URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436489> . – ISBN 978-5-261-00982-5. – Текст : электронный.

Перечень дополнительной литературы:

Ханефт, А.В. Теоретическая механика / А.В. Ханефт. – Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2012. – 110 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=232320>. – ISBN 978-5-8353-1514-7. – Текст : электронный.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

1. Электронно-библиотечная система IPRbooks Договор №5168/19 от 13 мая 2019 года
2. Электронная библиотечная система «Университетская библиотека on-line» Договор №50-04/19 от 13 мая 2019 года
3. Электронно-библиотечная система Лань Договор №Э410-19 от 22 апреля 2019 г.

Практическое занятие 5

Тема 5 Трение скольжения и качения.

Цель: научить определять реакции опор в плоской системе сил.

Знать: реакции связей,

условий равновесия плоской и пространственной систем сил,

теории пар сил;

Уметь: использовать законы и методы теоретической механики как основы описания и расчетов механизмов транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования. применять знания, полученные по теоретической механике при изучении дисциплин профессионального цикла;

приводить систему сил к простейшему виду;

составлять и решать уравнения равновесия;

Формируемые компетенции:

Код	Формулировка:
ОПК-1	Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе использования теоретических и практических основ естественных и технических наук, а также математического аппарата

Актуальность темы объясняется основными принципами определения реакций опор возникающих в реальных системах.

Теоретическая часть:

$$\vec{R} = 0, \quad \vec{M}_0 = 0. \quad (1.10)$$

Условия (1.10) являются необходимыми, так как если какое-нибудь из них не выполняется, то система сил приводится или к равнодействующей, или к паре сил и, следовательно, не является уравновешенной.

Одновременно условия (1.10) являются и достаточными, потому что при $\vec{R} = 0$ система сил может приводиться только к паре с моментом $\vec{M}_0$, а так как и $\vec{M}_0 = 0$, то имеет место равновесие. Так как

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2}, \quad M_0 = \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2},$$

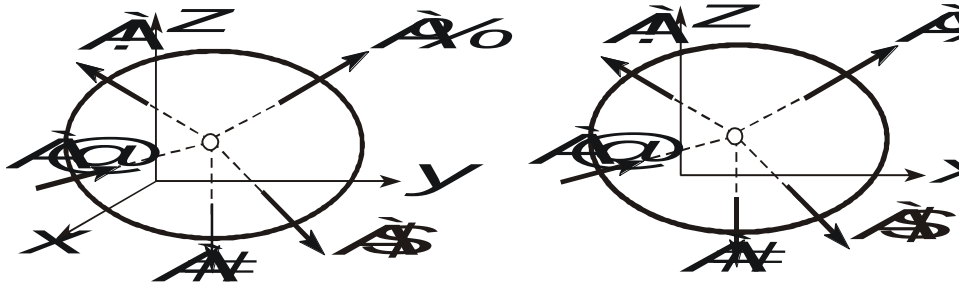
$$R_x = \sum F_{kx}, \quad R_y = \sum F_{ky}, \quad R_z = \sum F_{kz},$$

$$M_x = \sum m_y(\vec{F}_k), \quad M_y = \sum m_z(\vec{F}_k), \quad M_z = \sum m_x(\vec{F}_k),$$

то геометрические условия (1.10) эквивалентны следующим аналитическим условиям равновесия:

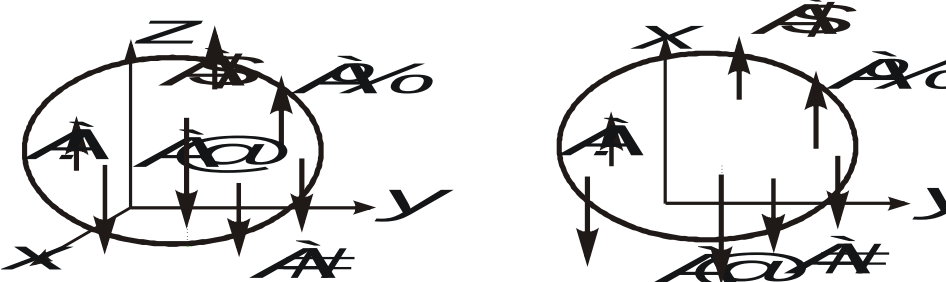
$$\begin{cases} \sum F_{kx} = 0, \\ \sum F_{ky} = 0, \\ \sum F_{kz} = 0, \end{cases} \quad \begin{cases} \sum m_x(\vec{F}_k) = 0, \\ \sum m_y(\vec{F}_k) = 0, \\ \sum m_z(\vec{F}_k) = 0. \end{cases} \quad (1.11)$$

Приведем условия равновесия для более простых систем сил. Все они получаются из соотношений (1.11) путем отбрасывания лишних уравнений (рис. 1.34).



$$\sum F_{kx} = 0, \sum F_{ky} = 0, \sum F_{kz} = 0. \quad (1.12) \quad \sum F_{kx} = 0, \sum F_{kz} = 0. \quad (1.13)$$

Рис. 1.29. Условия равновесия для систем сходящихся сил



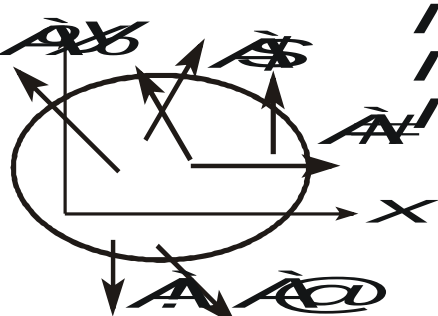
$$\sum F_{kz} = 0, \quad \sum F_{kz} = 0, \sum m_A(\vec{F}_k) = 0 \quad (1.15)$$

$$\sum m_y(\vec{F}_k) = 0 \quad (1.14), \quad \sum m_A(\vec{F}_k) = 0, \sum m_B(\vec{F}_k) = 0 \quad (1.16)$$

$$\sum m_x(\vec{F}_k) = 0,$$

Рис. 1.34. Условия равновесия для систем параллельных сил

Произвольная плоская система сил:



$$\begin{matrix} 1 & 2 & 3 \\ \vec{r}_{AO} & \vec{r}_{BO} & \vec{r}_{CO} \\ \vec{F}_1 & \vec{F}_2 & \vec{F}_3 \\ \vec{M}_1 & \vec{M}_2 & \vec{M}_3 \end{matrix} \quad (1.17)$$

$AB \not\perp OX$ Точки A, B и C не лежат на одной прямой

Рис. 1.35. Три формы условий равновесия плоской системы сил

Вопросы и задания:

1. Назовите основные модели реальных тел в теоретической механике.
2. Что называется моментом силы относительно точки?
3. Какие можно составить уравнения равновесия?
4. Какие системы сил называются эквивалентными?
5. Перечислите элементарные операции над силами.

Перечень основной литературы:

1. Теоретическая механика / О.Н. Оруджова, А.А. Шинкарук, О.В. Гермидер,

О.М. Заборская ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова. – Архангельск : САФУ, 2014. – 96 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436489> . – ISBN 978-5-261-00982-5. – Текст : электронный.

Перечень дополнительной литературы:

Ханефт, А.В. Теоретическая механика / А.В. Ханефт. – Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2012. – 110 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=232320>. – ISBN 978-5-8353-1514-7. – Текст : электронный.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

1. Электронно-библиотечная система IPRbooks Договор №5168/19 от 13 мая 2019 года
2. Электронная библиотечная система «Университетская библиотека on-line» Договор №50-04/19 от 13 мая 2019 года
3. Электронно-библиотечная система Лань Договор №Э410-19 от 22 апреля 2019 г.

Практическое занятие 6

Тема 6 Пространственная система сил.

Цель: научить определять реакции опор в плоской системе сил.

Знать: реакции связей,

условий равновесия плоской и пространственной систем сил,

теории пар сил;

Уметь: использовать законы и методы теоретической механики как основы описания и расчетов механизмов транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования. применять знания, полученные по теоретической механике при изучении дисциплин профессионального цикла;

приводить систему сил к простейшему виду;

составлять и решать уравнения равновесия;

Формируемые компетенции:

Код	Формулировка:
ОПК-1	Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе использования теоретических и практических основ естественных и технических наук, а также математического аппарата

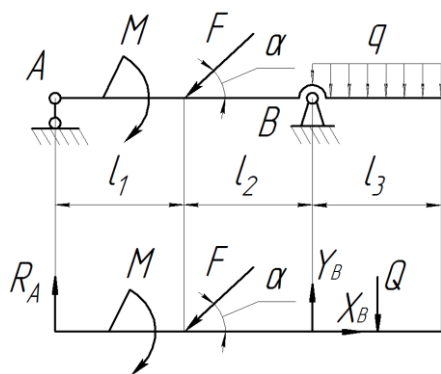
Актуальность темы объясняется основными принципами определения реакций опор возникающих в реальных системах.

Теоретическая часть:

Определение реакций опор твердого тела

Дано:

l_1	l_2	l_3	M	F	q	α
3	4	2	70	35	15	45



Определяем равнодействующую Q для равномерно распределенной нагрузки q :

$$Q = q \cdot l_3 = 15 \cdot 2 = 30 \text{ кН};$$

Составляем уравнения равновесия:

$$\sum F_{ix} = 0; X_B - F \cdot \cos \alpha = 0;$$

$$\sum F_{iy} = 0; Y_B - Q - F \cdot \sin \alpha + R_A = 0;$$

$$\sum M_B(F_i) = 0; -R_A(l_1 + l_2) - Q \cdot \frac{l_3}{2} - M + F \cdot \sin \alpha \cdot l_2 = 0.$$

Определяем неизвестные величины:

$$X_B = F \cdot \cos \alpha = 35 \cdot \cos 45 = 24,7 \text{ кН};$$

$$R_A = \frac{-Q \cdot \frac{l_3}{2} - M + F \cdot \sin \alpha \cdot l_2}{(l_1 + l_2)} = \frac{-30 \cdot \frac{2}{2} - 70 + 35 \cdot \sin 45 \cdot 4}{(3 + 4)} = -0,14 \text{ кН};$$

$$Y_B = Q + F \cdot \sin \alpha - R_A = 30 + 35 \cdot \sin 45 + 0,14 = 54,9 \text{ кН}.$$

Вопросы и задания:

6. Назовите основные модели реальных тел в теоретической механике.

7. Что называется моментом силы относительно точки?

8. Какие можно составить уравнения равновесия?

9. Какие системы сил называются эквивалентными?

10. Перечислите элементарные операции над силами.

Перечень основной литературы:

1. Теоретическая механика / О.Н. Оруджова, А.А. Шинкарук, О.В. Гермидер, О.М. Заборская ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова. – Архангельск : САФУ, 2014. – 96 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436489> . – ISBN 978-5-261-00982-5. – Текст : электронный.

Перечень дополнительной литературы:

Ханефт, А.В. Теоретическая механика / А.В. Ханефт. – Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2012. – 110 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=232320>. – ISBN 978-5-8353-1514-7. – Текст : электронный.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

1. Электронно-библиотечная система IPRbooks Договор №5168/19 от 13 мая 2019 года
2. Электронная библиотечная система «Университетская библиотека on-line» Договор №50-04/19 от 13 мая 2019 года
3. Электронно-библиотечная система Лань Договор №Э410-19 от 22 апреля 2019 г.

Практическое занятие 7

Тема 7 Сложение параллельных сил.

Цель: научиться определять реакции опор и усилия в стержнях ферм.

Знать: реакции связей,

условий равновесия плоской и пространственной систем сил,

кинематических характеристик точки, частных и общих случаев движения точки и твердого тела;

Уметь: приводить систему сил к простейшему виду;

составлять и решать уравнения равновесия;

Формируемые компетенции:

Код	Формулировка:
ОПК-1	Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе использования теоретических и практических основ естественных и технических наук, а также математического аппарата

Актуальность темы объясняется научиться определять реакции опор и усилия в стержнях мостов выполненных в виде ферм.

Теоретическая часть:

Плоские фермы – геометрически неизменяемые стержневые конструкции, стержни которых лежат в одной плоскости.

Узлы фермы – точки, в которых сходятся оси стержней (*опорные узлы* – узлы, которыми ферма опирается на основание).

Верхний и нижний пояса – стержни, образующие верхний и нижний контуры.

Стойки – вертикальные стержни.

Раскосы – наклонные стержни.

Пролет фермы – расстояние между опорными узлами (l).

Длина панели – расстояние между стойками (d).

Методы расчета. Для расчета усилий, возникающих в стержнях ферм, используются метод вырезания узлов и метод сквозных сечений (метод Риттера).

Основные допущения, принимаемые при расчете ферм:

1. Все узлы соединения стержней считаются идеальными шарнирами, не препятствующими взаимному повороту стержней. Узлы в металлических фермах, в которых стержни соединяются при помощи фасонных листов и заклепок, также рассматриваются как шарнирные, поскольку при нагрузке они допускают малые упругие деформации (взаимные повороты).

2. Нагрузка приложена в узлах. Для узловой передачи нагрузки на практике используются специальные балочные конструкции.

3. Геометрические размеры фермы не изменяются при нагружении (деформации малы).

■ **Метод вырезания узлов** – Последовательно вырезаются узлы фермы так, чтобы в двух уравнениях равновесия для каждого из узлов было не более двух неизвестных усилий. Как правило внешние опорные реакции должны быть предварительно определены.

Порядок расчета:

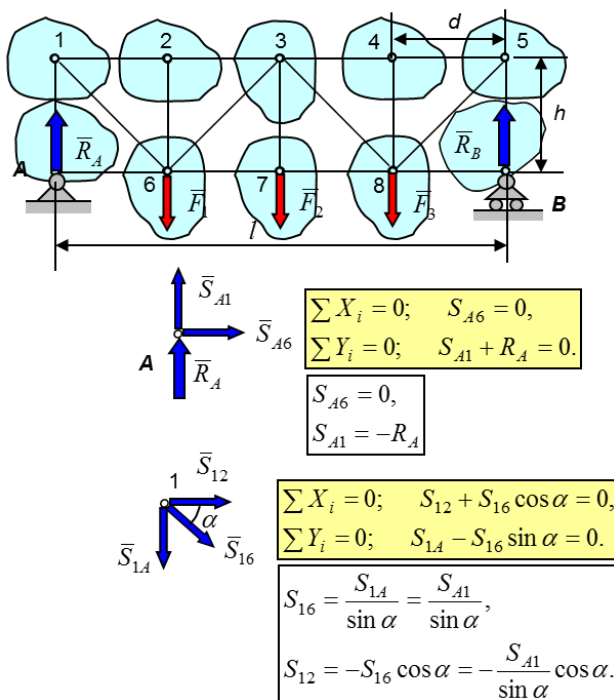
1. Выбираем в качестве объекта равновесия ферму в целом и определяем опорные реакции:

2. Нумеруем или обозначаем буквами необозначенные узлы. Реакции стержней (или усилия в них) будем обозначать далее двумя индексными цифрами или буквами – первая из них совпадает с номером (обозначением) вырезаемого узла, а вторая указывает к какому узлу присоединяется другим концом рассматриваемый стержень.

3. Вырезаем узел А (в этом узле всего два неизвестных усилия) и заменяем действие разрезанных

(отброшенных) узлов усилиями (реакциями) S_{A1} и S_{A6} .

4. Составляем уравнения равновесия для узла А и вычисляем усилия S_{A1} и S_{A6} .
5. Вырезаем узел 1 (в этом узле всего два неизвестных усилия) и заменяем действие разрезанных (отброшенных) узлов усилиями (реакциями) S_{1A} , S_{12} и S_{16} .
6. Составляем уравнения равновесия для узла 1 и вычисляем усилия S_{12} и S_{16} (S_{1A} и S_{A1} равны алгебраически, поскольку при направлении неизвестных усилий от узла аксиома действия и противодействия выполняется автоматически).



Метод вырезания узлов для вычисления усилия только в указанном стержне **требует рассмотрения всех узлов и решения для них уравнений равновесия** (по крайней мере узлов, находящихся между одним из опорных узлов и узлом, к которому подходит указанный стержень). Кроме того, последовательное вычисление усилий и подстановка результатов в дальнейший расчет при большом числе узлов чревато накоплением ошибок, не говоря уже о том, допущенная грубая ошибка в одном из узлов делает дальнейшие вычисления неверными.

■ **Метод сквозных сечений (метод Риттера)** в большинстве случаев не требует для вычисления усилия только в указанном стержне составления каких-либо других вспомогательных уравнений равновесия кроме того уравнения, в котором непосредственно участвует искомое усилие.

Метод основывается на составлении **одного уравнения равновесия** с использованием II и III форм уравнений равновесия произвольной плоской системы сил.

Вопросы и задания:

1. Определение фермы.
2. Из каких этапов состоит метод сечений?
3. Что называется эпюрой внутреннего усилия?
4. Из каких этапов состоит метод Риттера?
5. Как определить точки Риттера?

Перечень основной литературы:

1. Теоретическая механика / О.Н. Оруджова, А.А. Шинкарук, О.В. Гермидер, О.М. Заборская ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова. – Архангельск : САФУ, 2014. – 96 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436489> . – ISBN 978-5-261-00982-5. – Текст : электронный.

Перечень дополнительной литературы:

Ханефт, А.В. Теоретическая механика / А.В. Ханефт. – Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2012. – 110 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=232320>. – ISBN 978-5-8353-1514-7. – Текст : электронный.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

1. Электронно-библиотечная система IPRbooks Договор №5168/19 от 13 мая 2019 года
2. Электронная библиотечная система «Университетская библиотека on-line» Договор №50-04/19 от 13 мая 2019 года
3. Электронно-библиотечная система Лань Договор №Э410-19 от 22 апреля 2019 г.

Практическое занятие 8

Тема 8 Кинематика.

Цель: научиться определять реакции опор и усилия в стержнях ферм.

Знать: реакции связей,

условий равновесия плоской и пространственной систем сил,

кинематических характеристик точки, частных и общих случаев движения точки и твердого тела;

Уметь: приводить систему сил к простейшему виду;

составлять и решать уравнения равновесия;

Формируемые компетенции:

Код	Формулировка:
ОПК-1	Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе использования теоретических и практических основ естественных и технических наук, а также математического аппарата

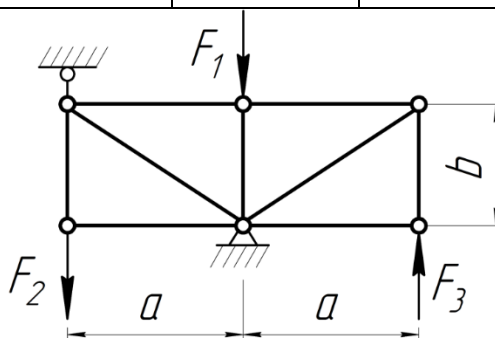
Актуальность темы объясняется научиться определять реакции опор и усилия в стержнях мостов выполненных в виде ферм.

Теоретическая часть:

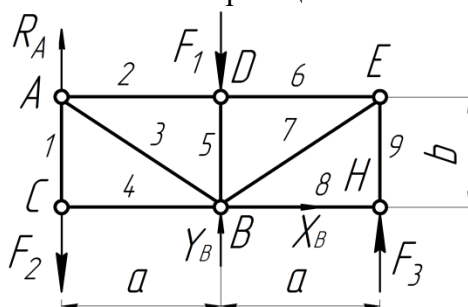
Расчет плоской фермы

Дано:

a	b	F_1	F_2	F_3
25	50	15	45	50



Освобождаем ферму от связей и заменяем их реакциями:



Составляем уравнения равновесия сил приложенных к ферме:

$$\sum F_{ix} = 0; X_B = 0;$$

$$\sum F_{iy} = 0; Y_B - F_2 + R_A + F_3 - F_1 = 0;$$

$$\sum M_B(F_i) = 0; F_3 \cdot a - R_A \cdot a + F_2 \cdot a = 0.$$

Определяем неизвестные величины:

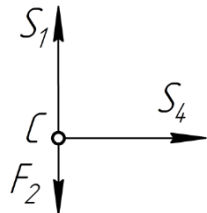
$$X_B = 0 \text{ кН};$$

$$R_A = \frac{F_2 \cdot a + F_3 \cdot a}{a} = \frac{45 \cdot 25 + 50 \cdot 25}{25} = 95 \text{ кН};$$

$$Y_B = F_2 - R_A - F_3 + F_1 = 45 - 95 - 50 + 15 = -85 \text{ кН.}$$

Определяем натяжение стержней.

Рассматриваем узел C:

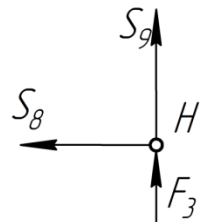


$$\sum F_{ix} = 0; S_4 = 0;$$

$$\sum F_{iy} = 0; S_1 - F_2 = 0;$$

$$S_1 = F_2 = 45 \text{ кН.}$$

Рассматриваем узел H:

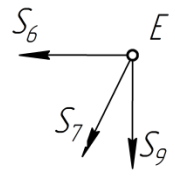


$$\sum F_{ix} = 0; -S_8 = 0;$$

$$\sum F_{iy} = 0; S_9 + F_3 = 0;$$

$$S_9 = -F_3 = -50 \text{ кН.}$$

Рассматриваем узел E:



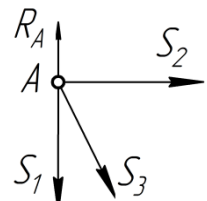
$$\sum F_{ix} = 0; -S_6 + S_7 \cdot \cos 60 = 0;$$

$$\sum F_{iy} = 0; -S_9 - S_7 \cdot \cos 30 = 0;$$

$$S_7 = -\frac{S_9}{\cos 30} = -\frac{-50}{\cos 30} = 57,7 \text{ кН;}$$

$$S_6 = S_7 \cdot \cos 60 = 57,7 \cdot \cos 60 = 28,9 \text{ кН.}$$

Рассматриваем узел A:



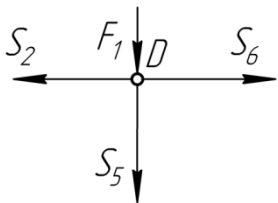
$$\sum F_{ix} = 0; S_2 + S_3 \cdot \cos 60 = 0;$$

$$\sum F_{iy} = 0; -S_1 - S_3 \cdot \cos 30 + R_A = 0;$$

$$S_3 = \frac{R_A - S_1}{\cos 30} = \frac{95 - 45}{\cos 30} = 57,7 \text{ кН;}$$

$$S_2 = -S_3 \cdot \cos 60 = -57,7 \cdot \cos 60 = -28,9 \text{ кН.}$$

Рассматриваем узел D:



$$\sum F_{iy} = 0; -F_1 - S_5 = 0;$$

$$S_5 = -F_1 = -15 \text{ кН.}$$

Вопросы и задания:

6. Определение фермы.
7. Из каких этапов состоит метод сечений?
8. Что называется эпюрой внутреннего усилия?
9. Из каких этапов состоит метод Риттера?
10. Как определить точки Риттера?

Перечень основной литературы:

1. Теоретическая механика / О.Н. Оруджова, А.А. Шинкарук, О.В. Гермидер, О.М. Заборская ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова. – Архангельск : САФУ, 2014. – 96 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436489> . – ISBN 978-5-261-00982-5. – Текст : электронный.

Перечень дополнительной литературы:

Ханефт, А.В. Теоретическая механика / А.В. Ханефт. – Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2012. – 110 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=232320>. – ISBN 978-5-8353-1514-7. – Текст : электронный.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

1. Электронно-библиотечная система IPRbooks Договор №5168/19 от 13 мая 2019 года
2. Электронная библиотечная система «Университетская библиотека on-line» Договор №50-04/19 от 13 мая 2019 года
3. Электронно-библиотечная система Лань Договор №Э410-19 от 22 апреля 2019 г.

Практическое занятие 9

Тема 9 Плоскопараллельное движение твердого тела.

Цель: дать студенту понятия о коэффициенте трения и его определении.

Знать: кинематические характеристики точки, дифференциальные уравнения движения точки;

общие теоремы динамики

Уметь: вычислять скорости и ускорения точек и точек тела при поступательном, вращательном и плоском движениях

Формируемые компетенции:

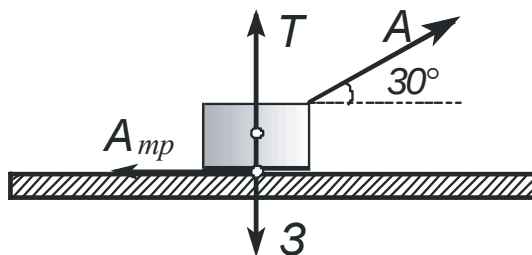
Код	Формулировка:
ОПК-1	Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе использования теоретических и практических основ естественных и технических наук, а также математического аппарата

Актуальность темы объясняется определением коэффициента трения различных материалов и сплавов.

Теоретическая часть:

Сила трения скольжения. Как показывает опыт, при стремлении двигать одно тело по поверхности другого в плоскости соприкосновения этих тел возникает сила трения, которая может принимать любые значения от нуля до некоторого предельного значения, определяемого законом Кулона $F_{mp} = fN$, где f - безразмерный коэффициент трения скольжения, N - нормальная реакция. Коэффициент трения скольжения определяется опытным путем и зависит от материала соприкасающихся тел и состояния их поверхностей (характер обработки, смазки, температуры и т.п.). Опыты показывают, что сила трения скольжения в широких пределах не зависит от размеров трущихся поверхностей тел. Так для того, чтобы сдвинуть обычный кирпич, нужно приложить одинаковую силу независимо от того лежит ли он плашмя или на ребре. При решении задач с учетом сил трения скольжения необходимо четко различать обычное и предельное равновесие тела. В первом случае величина силы трения неизвестна и должна определяться из решения соответствующих уравнений равновесия. Если же в задаче речь идет о предельном равновесии, то сила трения определяется законом Кулона:

$$F_{mp} = fN \quad (1.28)$$



Простейший пример: пусть на тело, находящееся в равновесии на горизонтальной шероховатой поверхности, действует сила $F=10$ Н. Определить, чему равна сила трения скольжения.

Решение: в данном случае тело заведомо находится в равновесии и сила трения определится из уравнения равновесия:

$$\sum F_{kx} = F \cos \alpha - F_{mp} = 0, \quad \text{откуда } F_{mp} = F \cos 30^\circ = 8,66 \text{ Н.}$$

Изменим теперь условие задачи: определим минимальную силу F , способную сдвинуть тело с места, если его вес P равен 10 Н, а коэффициент трения скольжения $f=0,1$.

Решение: так как речь идет о предельном состоянии равновесия,

$$F_{mp} = fN, \quad N = P, \quad F_{mp} = fP = 1 \text{ Н}, \quad \sum F_{kx} = F \cos 30^\circ - Pf = 0,$$

$$F = f P / \cos 30^\circ = 1,15H.$$

Как известно полную реакцию шероховатой поверхности принято представлять суммой двух составляющих: нормальной реакции T и силы трения $A_{тр}$ (рис. 1. 38)

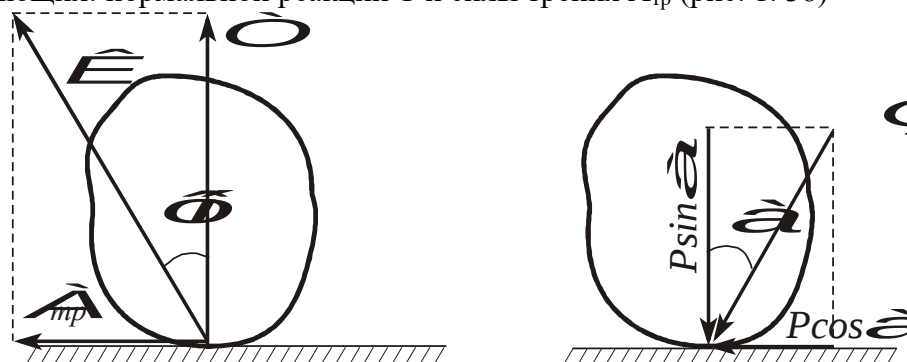
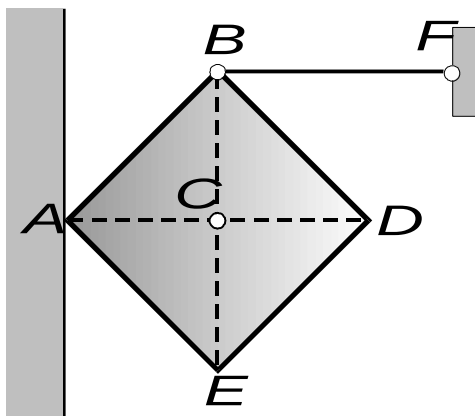


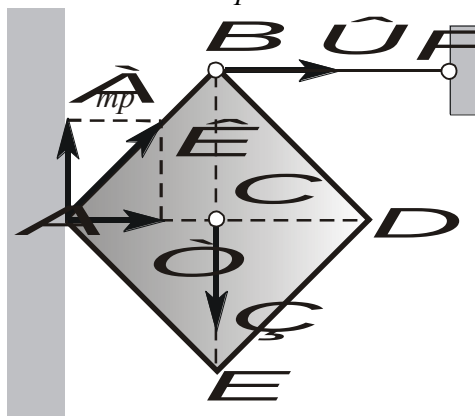
Рис. 1.38. Реакция шероховатой поверхности

Следовательно, полная реакция K будет отклонена от нормали к поверхности на некоторый угол. При изменении силы трения от нуля до ее предельного значения, сила K изменяется от T до своего максимального значения, а ее угол с нормалью растет от нуля до некоторого предельного значения ϕ_n , называемого углом трения. Из рисунка видно, что $\tan \phi_n = F_{тр} / N$, тогда с учетом того, что $F_{тр} = f N$, получаем $\tan \phi_n = f$.

Если к телу приложить силу Z под углом α к нормали (рис.1.34), то тело сдвинется только тогда, когда сдвигающее усилие $P \cos \alpha$ будет больше $F_{тр} = f N$. Это означает, что никакой силой, образующей с нормалью угол $\alpha < \phi_n$, тело вдоль данной поверхности сдвинуть нельзя.



Пример 1 . Каков должен быть минимальный коэффициент трения скольжения f в месте контакта однородной квадратной пластины весом P с вертикальной стенкой, если пластина в заданном положении находится в равновесии. Весом стержня BF пренебречь.



Решение. Так как линия действия полной реакции K вертикальной стенки при равновесии пластины должна пройти через точку B (на основании теоремы о трех силах), то $F_{mp}=N$ или, поскольку речь в условии задачи идет о предельном равновесии, $F_{mp}=fN$, $fN=N$, $f=1$. Тот же результат можно получить и из уравнения равновесия пластины:

$$\sum M_B(\vec{F}_k) = N \cdot BC - F_{mp} \cdot AC = 0, \quad F_{mp} = N, \quad fN=N, \quad f=1.$$

Перечень основной литературы:

1. Теоретическая механика / О.Н. Оруджова, А.А. Шинкарук, О.В. Гермидер, О.М. Заборская ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова. – Архангельск : САФУ, 2014. – 96 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436489> . – ISBN 978-5-261-00982-5. – Текст : электронный.

Перечень дополнительной литературы:

Ханефт, А.В. Теоретическая механика / А.В. Ханефт. – Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2012. – 110 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=232320>. – ISBN 978-5-8353-1514-7. – Текст : электронный.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

1. Электронно-библиотечная система IPRbooks Договор №5168/19 от 13 мая 2019 года
2. Электронная библиотечная система «Университетская библиотека on-line» Договор №50-04/19 от 13 мая 2019 года
3. Электронно-библиотечная система Лань Договор №Э410-19 от 22 апреля 2019 г.