

Министерство образования и науки Российской Федерации
Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

А. А. Поляков, Ф. Г. Лялина, Р. Г. Игнатов

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

Под общей редакцией проф., д-ра техн. наук А. А. Полякова

*Издание второе
Переработанное и дополненное*

*Допущено Уральским отделением Учебно – методического объединения
вузов РФ по образованию в области строительства в качестве учебного
пособия для студентов,
обучающихся по направлению подготовки бакалавров 08.03.01
«Строительство» и по специальности 08.05.01 «Строительство
уникальных зданий и сооружений».*

Екатеринбург
Издательство Уральского университета
2016

УДК 624.04.2(075.8)

ББК 30.121я73

П54

Рецензенты:

И. Г. Емельянов доктор технических наук, профессор (главный научный сотрудник института машиноведения УрО РАН);
кафедра конструкций, зданий и сооружений Уральской государственной архитектурно-художественной Академии (заведующий кафедрой, профессор, кандидат архитектуры **Е.А. Голубева**).

Поляков, А. А.

П54 Строительная механика: учебное пособие / А. А. Поляков, Ф. Г. Лялина, Р. Г. Игнатов. Под общ. редакцией А. А. Полякова. – Екатеринбург : УрФУ, 2016. – 452 с.

ISBN 978-5-8295-0460-1

Настоящее учебное пособие является 2-м изданием (1-е издание вышло в 2014 г.). По сравнению с предыдущим изданием в него внесены изменения и дополнения, способствующие более качественному изучению материала.

В учебном пособии приводятся краткие теоретические сведения, а также методы расчета стержневых конструкций на статические, подвижные, динамические нагрузки, устойчивость. Рассматриваются неразрезные многопролетные балки, фермы, рамы, шпренгельные балки и арки, как статически определимые, так и неопределимые системы. Подробно излагаются разделы, связанные с расчетом на устойчивость рамных и балочных конструкций и их собственных и вынужденных колебаний с конечным числом степеней свободы, а также основы расчета методом конечных элементов.

Учебное пособие соответствует требованиям государственных общеобразовательных стандартов, программе Министерства образования РФ по строительной механике для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 08.03.01 «Строительство» и специальности 08.05.01

«Строительство уникальных зданий и сооружений» всех форм обучения. Может быть полезно студентам, магистрантам, аспирантам, инженерам строительных и других специальностей.

Библиогр.: 16 назв. Рис. 573. Табл. 4. Прил. 1.

УДК 621.7.014.2(075.8)

ББК 30.121я73

ISBN 978-5-8295-0460-1

© Поляков, А.А., 2016

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	7
2. СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМЫЕ БАЛКИ	18
2.1. Основные понятия простых и многопролетных балок	18
2.2. Расчет многопролетной шарнирной балки	19
3. РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ НА ПОДВИЖНУЮ НАГРУЗКУ	26
3.1. Понятие линий влияния	26
3.2. Построение линий влияния для балки на двух опорах	27
3.3. Построение линий влияния в консольной балке	31
3.4. Построение линий влияния для двухопорной балки с консолями	32
3.5. Построение линий влияния для многопролетной шарнирной балки.....	34
3.6. Определение с помощью ЛВ усилий от заданной неподвижной нагрузки.....	35
4. РАСЧЕТ ПЛОСКИХ ФЕРМ	40
4.1. Понятие ферм	40
4.2. Кинематический и статический анализы ферм	43
4.3. Примеры кинематического анализа ферм	44
4.4. Определение усилий в стержнях ферм	45
4.5. Линии влияния в стержнях ферм	56
4.6. Определение перемещений в фермах	63
4.7. Квазиоптимальное проектирование ферм	66
5. РАСЧЕТ ПЛОСКИХ СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМЫХ РАМ.....	69
5.1. Основные понятия.....	69
5.2. Определение внутренних усилий в элементах рам	72
5.3. Простейшие рамы	73
5.4. Расчет составных рам.....	86
5.5. Приемы разбиения сложных рам на составляющие	99
6. РАСЧЕТ АРОК.....	116
6.1. Основные сведения	116
6.2. Геометрические характеристики арок	117
6.3. Определение реакций опор в арке.....	118
7. РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ	126
7.1. Понятие статически неопределимых систем	126
7.2. Определение степени статической неопределимости в стержневых системах.....	128
7.3. Сущность метода сил	132
7.4. Расчет статически неопределимой неразрезной балки методом сил ..	142
7.5. Расчет статически неопределимой фермы по методу сил	148
7.6. Расчет статически неопределимых шпренгельных балок	154
7.7. Некоторые варианты выбора рациональной основной системы метода сил при расчете рам	163
8. РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ СИСТЕМ МЕТОДОМ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ (МП).....	184

8.1. Основные понятия.....	184
8.2. Определение реактивных усилий в типовых статически неопределимых балках от единичных перемещений.....	190
8.3. Определение реактивных усилий в типовых балках от внешней нагрузки.....	192
8.4. Расчет неразрезных балок методом перемещений.....	196
8.5. Расчет рам с линейно-неподвижными узлами.....	205
8.6. Расчет рам с линейно подвижными узлами.....	211
8.7. Особенности расчета рам с линейно-подвижными узлами при наличии наклонных стоек	245
8.8. Использование симметрии при расчете симметричных систем.....	268
9. РАСЧЕТЫ НА УСТОЙЧИВОСТЬ.....	278
9.1. Понятие устойчивости	278
9.2. Расчеты устойчивости на основе метода перемещений. Общие положения	278
9.3. Расчеты устойчивости балок и стоек	283
9.4. Расчет рам на устойчивость.....	297
9.5. Рамы с линейно-подвижными узлами.....	319
9.6. Понятие о приближенных методах расчета рам на устойчивость	348
9.7. Рамы с бесконечно-жесткими ригелями.....	353
10. ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ УПРУГИХ СИСТЕМ.....	356
10.1. Понятия.....	356
10.2. Собственные колебания системы с одной степенью свободы	359
10.3. Свободные колебания системы с двумя и несколькими степенями свободы.....	372
10.4. Вынужденные колебания систем с конечным числом степеней свободы.....	405
10.5. Расчет рамы, нагруженной вибрационной нагрузкой, на вынужденные колебания.....	413
11. ОСНОВЫ РАСЧЕТА МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	420
11.1. Краткое описание метода конечных элементов	421
11.2. Матрицы жесткости метода конечных элементов	424
11.3. Вектор грузовых усилий (реакций) по концам стержней в местной системе координат	428
11.4. Порядок расчета рам.....	430
11.5. Расчет рам методом конечных элементов с использованием ПК	442
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	451

ПРЕДИСЛОВИЕ

Строительная механика – наука о расчете в целом инженерных сооружений и конструкций на прочность, жесткость и устойчивость – в этом ее отличие от сопротивления материалов, где рассматриваются отдельные элементы или простейшие конструкции. Строительная механика базируется на математике, физике, теоретической механике, сопротивлении материалов и вместе с этим создает фундамент для изучения специальных профильных дисциплин и расчета сложных современных строительных сооружений, разнообразных конструкций не только в строительной отрасли, но и в горнодобывающей, нефтегазовой, энергетической отраслях, в самолетостроении, кораблестроении и др. Строительная механика как прикладная наука возникла из потребностей строительства, но она непрерывно развивается, совершенствуется, и сегодня она вышла за рамки своего начального предназначения – расчета строительных конструкций. Достижения науки и техники, производства, сферы быта и обслуживания требуют внедрения более совершенных конструкций, сооружений как по дизайну, так и по надежности и экономичности. Внедрение высотных зданий, подземных сооружений, скоростных дорог, транспортных средств, летательных аппаратов, надводных и подводных конструкций, различной космической техники и т. д. требует развития методов расчета и высокой профессиональной инженерной подготовки. Поэтому овладение навыками расчетов, изучаемых в курсе «Строительная механика», весьма важно в инженерии.

Круг задач, изучаемых в строительной механике, широк, и в связи с этим происходит выделение новых разделов, которые практически стали самостоятельными дисциплинами: строительная механика корабля, строительная механика ракетной и космической техники, строительная механика машиностроительных конструкций, строительная механика самолетов, динамика и устойчивость сооружений и конструкций. Естественно, процесс развития строительной механики не закончен, она непрерывно совершенствуется и углубляется. С интенсивным внедрением ЭВМ этот процесс будет преобразовываться еще, т. к. именно строительная механика, базируясь на ЭВМ, позволяет инженеру устанавливать все внутренние силы и деформации в сооружении и таким образом искать рациональные формы конструкции при минимальных затратах. При этом проектант может промоделировать все процессы деформирования конструкции и еще на стадии ее проектирования предусмотреть мероприятия, исключающие возникновение

опасного состояния при эксплуатации. Для обеспечения прочности, устойчивости, жесткости конструкций наиболее важным является определение внутренних усилий, которое и является главной задачей строительной механики. По внутренним усилиям можно определить размеры сечений элементов, оценить прочность, жесткость и устойчивость конструкций.

Строительная механика – это ключ, дающий инженеру возможность создания уникальных надежных конструкций, отличающихся своей легкостью, экономичностью и смелым дизайном.

В данном пособии приведены основы расчета конструкций различных типов на разные виды нагрузок. Материал изложен доступно и научно обоснован. В пособии рассмотрены многочисленные примеры, которые позволят студентам самостоятельно овладеть проверенными практикой методами расчета. Пособие обобщает накопленный десятилетиями опыт кафедры «Строительная механика» УПИ – УрФУ.

Авторы искренне признательны члену-корреспонденту Академии наук СССР Станиславу Андреевичу Рогицкому, профессорам Венедикту Ивановичу Климанову и Виктору Вячеславовичу Рогалевичу, Чупину Владимиру Васильевичу, доцентам Владимиру Владимировичу Чуватову и Ивану Афиногеновичу Егорову за их огромный вклад в создание и развитие направлений кафедры «Строительная механика» УрФУ, которая является известной в Уральском регионе.

Авторы благодарят за помощь в подготовке пособия студентов Строительного института УрФУ: Бисярина Александра Михайловича, Бакова Михаила Антоновича, Гольякова Никиту Кирилловича, Островского Никиту Андреевича, Севостьянова Сергея Александровича, Шиповаленко Евгения Алексеевича и аспиранта Остаточникова Ивана Юрьевича.

Авторы благодарны генеральному директору ООО «Виктория инвест строй» Шварцу Борису Эдуардовичу за поддержку и финансовую помощь в издании учебного пособия.

Также авторы признательны рецензентам: профессорам кафедры «Конструкции, здания и сооружения» кандидату архитектуры Голубевой Екатерине Александровне и кандидату технических наук Годзевич Эльзе Владимировне, (Уральская Государственная архитектурно-художественная Академия); доктору технических наук, профессору Емельянову Игорю Георгиевичу, главному научному сотруднику института машиноведения УрО РАН.

1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Задачи строительной механики

Строительство различных сооружений (мостов, тоннелей, гидротехнических плотин и др.), а также жилых, общественных и промышленных зданий ведется по проектам, в которых указываются размеры как самого сооружения, так и отдельных его частей. Размеры всех элементов определяются путем расчетов, которые излагаются в курсах:

- сопротивление материалов,
- строительная механика,
- теория упругости,
- теория устойчивости.

Важное место среди них занимает строительная механика, в которой изучаются принципы и методы расчета деформируемых систем, состоящих из стержней, а также из пластин и оболочек. При создании методов расчета в строительной механике широко используются основные принципы теоретической механики и сопротивления материалов.

Целью расчетов, проводимых с помощью методов строительной механики, является определение внутренних усилий в отдельных элементах конструкций, а также перемещений различных точек системы от действующих на сооружение нагрузок. По найденным внутренним усилиям конструкторы определяют требуемые размеры элементов, которые обеспечивают необходимую прочность при наименьшей затрате материала. Найденные перемещения отдельных точек дают представление об изменении формы той или иной системы, т. е. о ее жесткости. Цель расчета на жесткость состоит в том, чтобы не допустить больших перемещений, прогибов, горизонтальных отклонений, обеспечив тем самым требуемые эксплуатационные показатели объекта.

Кроме расчетов на прочность и жесткость проводятся дополнительные расчеты на устойчивость всего сооружения и отдельных его частей, а также изучаются колебания конструкций, чтобы предупредить возникновение резонанса, приводящего иногда к разрушению сооружения.

Таким образом, *строительная механика* есть наука о принципах и методах расчета сооружений на прочность, жесткость и устойчивость при статических и динамических воздействиях.

1.2. Допущения в строительной механике

Основные допущения, принятые в строительной механике для расчета упругих систем, те же, что и в сопротивлении материалов, с той лишь разницей, что они относятся не к отдельному элементу, а ко всему сооружению в целом.

- Материал сооружения обладает совершенной упругостью, т. е. после прекращения действия нагрузки деформации полностью исчезают;
- перемещения точек сооружения малы по сравнению с размерами самого сооружения (расчет сооружений по недеформированной схеме);
- перемещения точек сооружения прямо пропорциональны силам, вызывающим эти перемещения (соблюдается закон Р. Гука);
- справедлив принцип независимости действия сил: результат действия на сооружение группы сил не зависит от последовательности нагружения ими сооружений и равен сумме результатов действия каждой из сил в отдельности.

1.3. Понятие расчетной схемы сооружения

Большинство сооружений имеют сложные соединения составляющих их элементов. Расчет такого сооружения как единого целого оказывается весьма сложным. Для расчета прибегают к упрощениям, сознательно отказываясь от целого ряда сравнительно маловажных факторов, и оперируют упрощенными схемами сооружений, называемыми расчетными схемами.

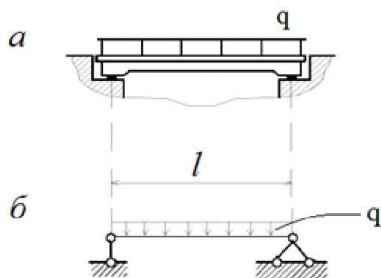


Рис. 1.1

Расчетная схема представляет собой упрощенное изображение действительного сооружения. Выбор расчетной схемы – ответственная задача. Расчетная схема должна позволить сделать расчет сооружения по степени сложности практически приемлемым и в то же время должна обеспечить расчету достаточную достоверность и точность.

В качестве простейшего примера рассмотрим составление расчетной схемы для однопролетного моста, представляющего собой стержневую систему (рис. 1.1, а).

Расчетная схема (рис. 1.1, б) представляет собой простую балку на двух опорах. Вес дорожного покрытия, перил и собственный вес несущих элементов действуют на балку в виде распределенной нагрузки с интенсивностью q .

На рис. 1.2, а показан более сложный пример – рамный мост, для которого расчетная схема изображена на рис. 1.2, б.

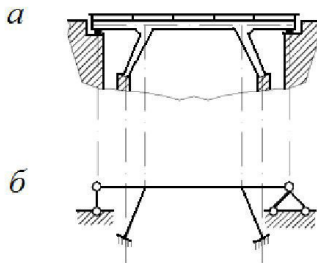


Рис.1.2

На рис. 1.3 показана расчетная схема фермы, в которой отдельные элементы (стержни) соединены между собой в узлах с помощью шарниров. На практике встречаются, главным образом, фермы, у которых стержни жестко скреплены в узлах с помощью сварки, заклепок, болтов. В отдельных случаях, например в железобетонных фермах, узлы изготавливаются одновременно с самими элементами и составляют с ними одно целое. Тем не менее, в расчетных схемах ферм обычно предполагается наличие идеальных шарниров в узлах.

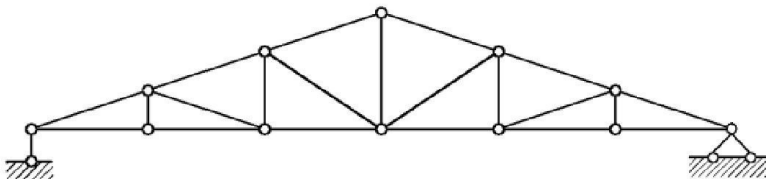


Рис. 1.3

1.4. Классификация расчетных схем

Классифицировать расчетные схемы сооружений можно по следующим признакам:

1. По расположению осей элементов и нагрузок:

- *плоские*, когда все стержни и нагрузки расположены в одной плоскости (рис.1.4);

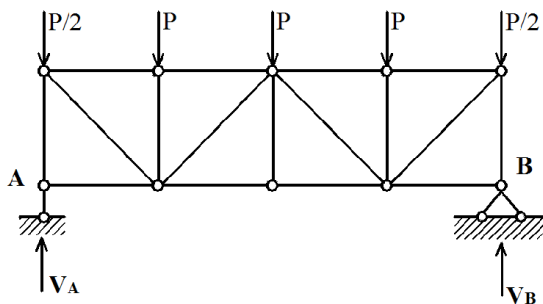


Рис. 1.4

- *пространственные*, когда стержни расположены в разных плоскостях (рис. 1.5, а) или когда нагрузки действуют не в плоскости сооружения (рис. 1.5, б).

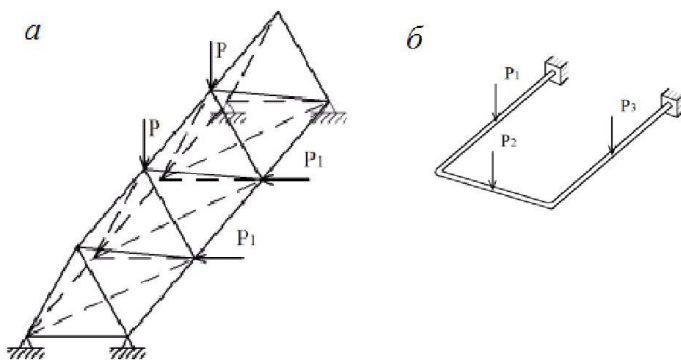


Рис. 1.5

2. По виду элементов, образующих сооружение:

- *стержневые системы* (рис. 1.4, 1.5), которые составлены из элементов, имеющих небольшие размеры поперечных сечений по сравнению с их длиной;

- *тонкостенные сооружения*, составленные из элементов, толщина которых мала по сравнению с другими размерами (рис. 1.6), – это плиты (рис. 1.6, а) и оболочки (рис. 1.6, б, в).

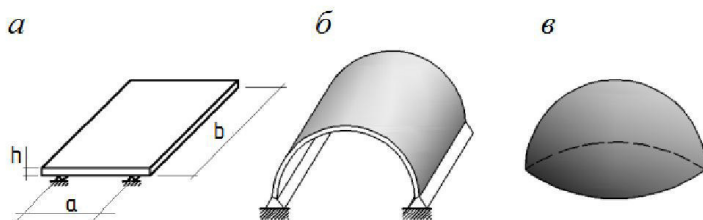


Рис. 1.6

- *массивы* – сооружения, имеющие все размеры одного порядка: массивные фундаменты, подпорные стенки, плотины (рис. 1.7, а, б).

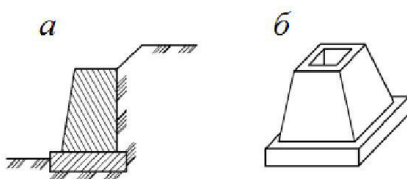


Рис. 1.7

3. По направлению опорных реакций:

- *балочные*, у которых при действии вертикальной нагрузки возникают только вертикальные реакции опор (рис. 1.4);

- *распорные*, в которых при действии вертикальных нагрузок возникают наклонные реакции (рис. 1.8), – это арки (рис. 1.8, а), рамы (рис. 1.8, б) и другие.

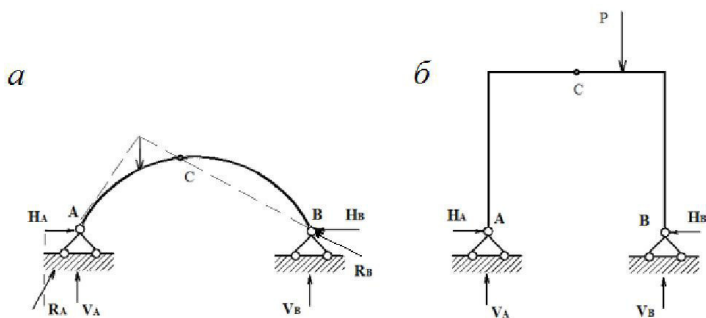


Рис. 1.8

4. В зависимости от методов расчета, расчетная схема может быть:

- *статически определимой*;
- *статически неопределимой*.

5. По кинематическому признаку:

- *геометрически неизменяемые*, изменение формы которых происходит вследствие деформации отдельных элементов (рис. 1.8, *а, б*);
- *мгновенно изменяемые*: такие системы допускают бесконечно малые перемещения без деформации элементов (рис 1.9, *а, б*);
- *геометрически изменяемые*, изменение формы которых происходит без деформации элементов (рис. 1.9, *в*), – механизмы.

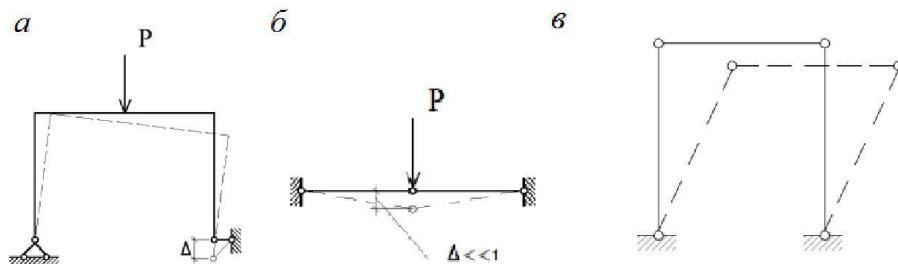


Рис. 1.9

Мгновенно изменяемые и геометрически изменяемые системы не могут быть приняты как расчетные схемы сооружений.

1.5. Кинематический анализ расчетных схем сооружений

Понятие степени свободы сооружения

Число степеней свободы системы равно количеству независимых параметров, определяющих положение элементов системы. Например, точка *M* на плоскости имеет две степени свободы – координаты *x* и *y* (рис. 1.10, *а*), а стержень *AB* – три степени свободы, т. е. положение прямой *AB* на плоскости определяется тремя параметрами: координатами точки *A* *x*, *y* – и углом φ (рис. 1.10, *б*).

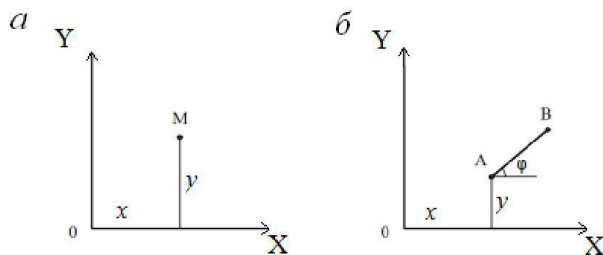


Рис. 1.10

Введем понятие диска. *Диском* называется явно геометрически неизменяемая часть сооружения (расчетной схемы). Диск принято изображать плоской фигурой произвольной формы (рис. 1.11, *а*).

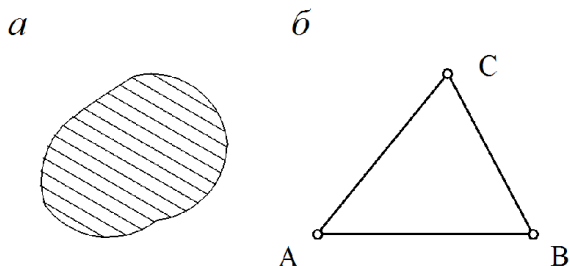


Рис. 1.11

Диском является любой стержень или треугольник, составленный из трех стержней (рис. 1.11, *б*). Установим степень свободы (W) шарнирно-стержневой системы (рис. 1.12). Если бы диски не были соединены шарнирами, то степень свободы была бы $3D$. Но каждый диск соединен с соседним шарниром, который эквивалентен двум связям. Таким образом, шарниры, соединяющие диски между собой, уменьшают число степеней свободы на $2Ш$.

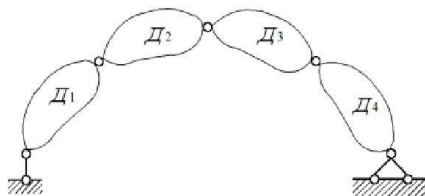


Рис. 1.12

Кроме того, система соединена с опорным диском (землей) тремя опорными стержнями C_0 . Следовательно, число степеней свободы системы, изображенной на рис. 1.12, может быть определено по формуле Чебышева:

$$W = 3D - 2Ш - C_0, \quad (1.1)$$

где W – число степеней свободы системы, D – количество дисков, $Ш$ – число простых одиночных шарниров, C_0 – количество опорных стержней.

Поясним понятия «простой» и «сложный» шарниры. Простой (одиночный) шарнир (рис. 1.13, *а*) соединяет два стержня с возможностью их относительного поворота.

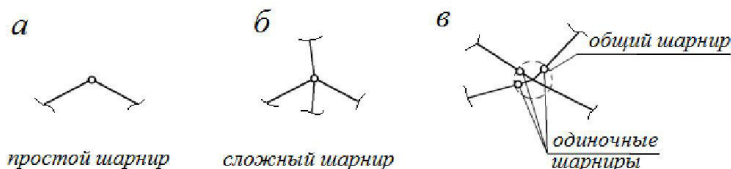


Рис. 1.13

На рис. 1.13, б изображен сложный шарнир, объединяющий четыре диска (стержня). Сложный шарнир, объединяющий n дисков, эквивалентен $(n - 1)$ простому шарниру. Если в узле сходится n стержней, то число одиночных шарниров определяется по формуле $Ш = С - 1$, где $С$ – количество стержней в узле.

Если $W = 0$, то система геометрически неизменяема.

При $W > 0$ система геометрически изменяема, при $W < 0$ система геометрически неизменяема и имеет лишние связи.

Условие (1.1) является необходимым, но недостаточным признаком геометрической неизменяемости системы.

Рассмотрим расчетные схемы двух ферм (рис. 1.14, а, б). Определим степень свободы той и другой фермы.

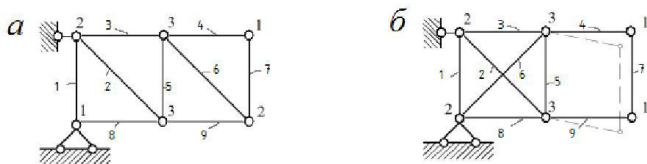


Рис. 1.14

а: $Д = 9$, $Ш = 12$, $С_0 = 3$.

$$W = 3 \cdot 9 - 2 \cdot 12 - 3 = 0.$$

Система геометрически неизменяема.

б: $Д = 9$, $Ш = 12$, $С_0 = 3$.

$$W = 3 \cdot 9 - 2 \cdot 12 - 3 = 0.$$

Но система (б) геометрически изменяема, т. к. содержит шарнирный четырехугольник, который свернется в параллелограмм. Поэтому условие $W = 0$ является необходимым, но недостаточным условием геометрической неизменяемости системы.

Для выявления изменяемости (неизменяемости) системы надо провести структурный анализ расчетной схемы, который основывается на нескольких принципах, приведенных ниже.

Принципы образования геометрически неизменяемой системы

1. Если узел А (рис. 1.15, а) присоединен к диску Д двумя стержнями, не лежащими на одной прямой, то они образуют геометрически неизменяемую систему.

2. Два диска образуют геометрически неизменяемую систему, если они соединяются тремя стержнями, не параллельными и не пересекающимися в одной точке (рис. 1.15, б), или шарниром и стержнем; причем ось стержня не проходит через шарнир (рис. 1.15, в).

3. Три диска образуют геометрически неизменяемую систему, если они соединены тремя шарнирами, не лежащими на одной прямой (рис 1.15, г)

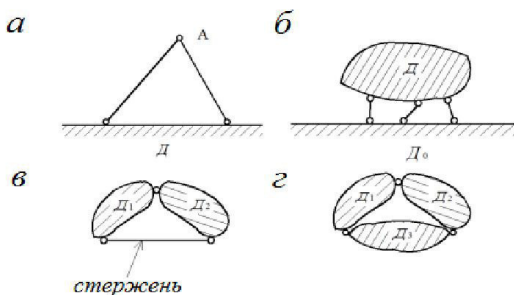


Рис.1.15

Эти принципы применимы для простейших схем. Пока ограничимся ими.

Рассмотрим случай, когда два диска соединены тремя параллельными стержнями (рис.1.16). Диск Д₁ может сместиться по отношению к диску Д₀ без деформации стержней.

Вывод: диски Д₁ и Д₀ образуют изменяемую систему.

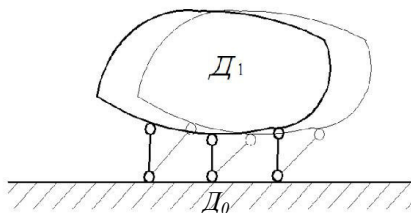


Рис. 1.16

Два диска соединены тремя стержнями, пересекающимися в одной точке O (рис. 1.17). Точка O является мгновенным центром вращения. Такая система является мгновенно изменяемой.

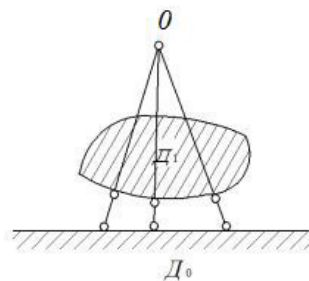


Рис. 1.17

Почему нельзя применять мгновенно изменяемые системы как расчетные схемы сооружений, покажем на примерах ниже.

Пример 1.1

Пусть мы имеем систему, состоящую из двух дисков D_1 и D_0 (рис 1.18), соединенных тремя стержнями. Стержень 3 проходит вблизи точки O на расстоянии a . На диск D_1 действует сила P , отстоящая от точки O на величину r .

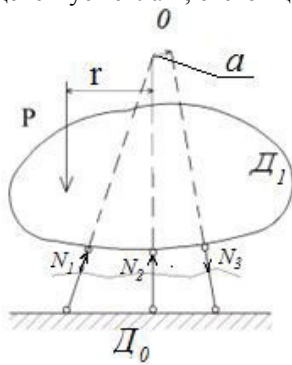


Рис. 1.18

Проведем сечение через стержни 1, 2 и 3 и составим уравнение равновесия $\sum M_0 = 0$.

$$P \cdot r - N_3 \cdot a = 0.$$

Решив это уравнение, найдем $N_3 = P \frac{r}{a}$. Если $a \rightarrow 0$, то $N_3 \rightarrow \infty$.

Мгновенно изменяемые системы характеризуются тем, что в отдельных стержнях усилия принимают очень большие значения.

Пример 1.2

Имеем систему, состоящую из диска AC и присоединенного к нему узла B (рис. 1.19, а).

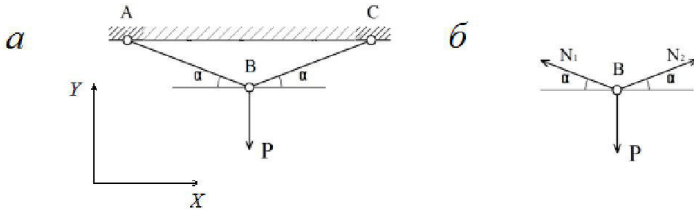


Рис. 1.19

Найдем усилия в стержнях AB и BC . Для этого вырежем узел B (рис. 1.19, б) и составим уравнение равновесия

$$\sum x = 0: N_1 = N_2.$$

$$\sum y = 0: P - (N_1 \cdot \sin \alpha) \cdot 2 = 0. N_1 = \frac{P}{2 \sin \alpha}.$$

При $\alpha \rightarrow 0$ $\sin \alpha \rightarrow 0$ и $N_1 \rightarrow \infty$.

Когда угол α равен 0, имеем систему, состоящую из диска и узла B , присоединенного к нему двумя стержнями – AB и BC , которые лежат на одной прямой. Такую систему можно считать системой, состоящей из трех дисков (опорный диск AC , стержни AB и BC), соединенных тремя шарнирами, лежащими на одной прямой. Такие системы относятся к мгновенно изменяемым, и их нельзя применять в качестве расчетной схемы сооружения.

Если при расчете системы какое-либо усилие принимает бесконечно большое значение, то это является следствием мгновенной изменяемости системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Александров А. В. Строительная механика : учебник для вузов / А. В. Александров, В. Д. Потапов, В. Б. Зылев. Часть 1. М. : Высшая школа, 2007. 703 с.
2. Александров А. В. Строительная механика. Динамика и устойчивость : Кн. 2 / А. В. Александров, В. Д. Потапов, В. Б. Зылев. М. : Высшая школа, 2008. 384 с.
3. Анохин Н. Н. Строительная механика в примерах и задачах : учеб. пособие для студентов вузов. Ч. 1. Плоские статически определимые стержневые системы / Н. Н. Анохин. М. : АСВ, 1999. 335 с.
4. Анохин Н. Н. Строительная механика в примерах и задачах : учеб. пособие для студентов вузов. Ч. 2. Статически неопределимые системы. М. : АСВ, 2007. 464 с.
5. Дарков А. В. Строительная механика / А. В. Дарков. Изд. 12-е, стер. СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2010. 656 с.
6. Клейн Г. К. Руководство к практическим занятиям по курсу строительной механики / Г. К. Клейн [и др.]. М. : Высшая школа, 1980. 384 с.
7. Климанов В. И. Расчет стержневых систем методами перемещений и распределения моментов / В. И. Климанов. Свердловск : УПИ. 1989. 80 с.
8. Климанов В. И. Устойчивость стержневых и тонкостенных систем / В. И. Климанов. Свердловск : УПИ. 1988. 80 с.
9. Киселев В. А. Строительная механика. Общий курс / В. А. Киселев. М. : Стройиздат, 1986. 520 с.
10. Потапов В. Д. Строительная механика. Кн. 1. Статика упругих систем / В. Д. Потапов, А. В. Александров. М. : Высшая школа, 2007. 511 с.
11. Рогицкий С. А. Новый метод расчета на прочность и устойчивость / С. А. Рогицкий. Свердловск : Урало-сибирское отделение машгиза, 1961. 352 с.
12. Саргсян А. Е. Строительная механика. Основы теории с примерами расчетов : учебник / А. Е. Саргсян, А. Т. Демченко, Н. В. Дворянчиков, Г. А. Джинчвелашвили. М. : Высшая школа. 2009. 475 с.
13. Смирнов А. Ф. Строительная механика. Динамика и устойчивость сооружений / А. Ф. Смирнов, А. В. Александров. М. : Стройиздат. 1984. 416 с.
14. Алехин В. Н. Расчет плоских стержневых систем методом конечных элементов : методические указания / В. Н. Алехин, А. А. Чусовитин. Екатеринбург : УПИ, 1992. 14 с.
15. Поляков А. А. Соппротивление материалов : учебное пособие / А. А. Поляков. Екатеринбург : УрФУ, 2011. 335 с.
16. Юсупов А. К. Методы прикладной математики в строительной механике : в 4 т. / А. К. Юсупов. Махачкала : ДагГТУ, 2008. 1471 с.

Учебное издание

Поляков Алексей Афанасьевич
Лялина Фарида Галиевна
Игнатов Роберт Георгиевич

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

Редактор *В.О. Корионова*
Н.В. Рощина

Подписано в печать 12.07.2016. Формат 70×100/16.
Бумага типографская. Офсетная печать. Усл. печ. л. 28,0.
Уч.-изд. л. 33,9. Тираж 200 экз. Заказ № 567.7.

Издательство Уральского университета
Редакционно-издательский отдел ИПЦ УрФУ
620049, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 5
Тел.: 8 (343) 375-48-25, 375-46-85, 374-19-41
E-mail: rio@urfu.ru

Отпечатано в типографии
ООО «Издательство УМЦ УПИ»
620078, Екатеринбург, ул. Гагарина, 35а, оф.2
Тел.: 8 (343) 362-91-16