

Учет взаимосвязи учебного материала предметов теоретической и строительной механики в условиях формирования национальной доктрины инженерного образования

Томский государственный архитектурно-строительный университет
М.О. Моисеенко, О.Н. Попов, Е.В. Евтюшкин, Д.Н. Песцов

В статье рассмотрены проблемы и их решения при преподавании курсов «Строительная механика» (СтрМ) и «Теоретическая механика» (ТМ). Предполагается, что преподаватель кафедры ТМ при изложении материала учитывает потребность дисциплины СтрМ. В дальнейшем новые знания, полученные студентами ассоциируются с ранее полученными. У студентов появляется стимул к изучению предметов, которые студенты считают ненужными. Рассмотрена взаимосвязь основных тем разделов СтрМ и ТМ.

Научно-технический прогресс в строительстве и вызванная им необходимость овладения новыми эффективными методами расчета сооружений, приводит к увеличению объема учебного материала. Методы расчета сооружений для инженеров-строителей в большом объеме излагаются в курсе СтрМ. СтрМ – это наука о расчете сооружений на прочность, жесткость и устойчивость при действии на них статических и динамических нагрузок. СтрМ, как и сопротивление материалов, является одним из разделов механики твердых деформируемых тел. В ней широко используются методы ТМ [1].

Существует мнение, что появление мощных универсальных методов должно вытеснить из учебного курса СтрМ традиционные методы анализа сооружений. Однако, изучение СтрМ преследует цель не только снабдить студента аппаратом для расчета конструкций, но и научить его понимать «игру сил», чувствовать работу различных конструкций под действи-

ем различных нагрузок. Это достигается только изучением традиционных методов при анализе простых конструкций, которые сохраняются в курсе СтрМ и увязыванием традиционных методов с излагаемыми разделами в курсе СтрМ.

1. Основные понятия.

1.1. Модель абсолютно твердого тела и способ сечений. В СтрМ принимается принцип затвердения, ввиду малости упругих деформаций по сравнению с размерами тела, который применяется при определении опорных реакций и внутренних усилий.

1.2. Три формы равновесия: устойчивое, безразличное и неустойчивое (Теорема Лагранжа-Дирихле). В СтрМ внимание концентрируется на устойчивом равновесии.

1.3. Момент силы относительно оси и лемма о параллельном переносе силы. В СтрМ рассчитываются пружины, которые влияют на действие сдвига и кручение.

1.4. Уравнения равновесия.

1.5. Работа, мощность. Потенциальная энергия. В СтрМ данные понятия применяются при определении линейных и угловых перемещений. Данные понятия вводятся в ТМ.

1.6. Основная теорема статики о замене произвольной системы сил. Главный вектор сил и главный вектор момент. В СтрМ, в общем случае, действия произвольной системы сил и внутренних сил в сечении бруса приводятся, по правилам ТМ, к центру тяжести сечения. В результате, в качестве статических эквивалентов выступают лишь два векторных силовых фактора: главный вектор и главный вектор-момент. Для удобства решения каждый из векторов раскладывается на составляющие векторы вдоль соответствующих координатных осей. В общем случае получаем шесть внутренних силовых факторов.

1.7. Лемма о параллельном переносе силы. В СтрМ при рассмотрении темы расчет арки рассматривается внецентренное сжатие (растяжение) вектора силы, который параллелен оси бруса. Это действие силы на брус в СтрМ сводится к совокупности ранее изученных деформаций: осевому действию продольной силы и косоугольному изгибу. Такая операция основывается на лемме ТМ о параллельном переносе силы. При этом переносится сила, а вектор-момент раскладывается на две составляющие.

1.8. Момент силы относительно оси. В СтрМ сложное сопротивление разного характера рассматривается на примере кривого стержня. Предварительно строятся эпюры: продольных, поперечных сил, возникающих относительно разных осей, крутящих и изгибающих моментов относительно осей поперечных сечений (применяется понятие о моменте силы относительно оси, которое было введено в ТМ).

2. Многопролетные балки.

2.1. Метод сечений. Поперечная сила и изгибающий момент устанавливаются с применением способа сечений и уравнений равновесия.

Поперечная сила в сечении численно равна алгебраической сумме проекций всех сил, действующих на балку по одну сторону от рассматриваемого сечения, на вертикальную ось. Изгибающий момент в том же сечении балки численно равен алгебраической сумме моментов всех сил, действующих по одну сторону от сечения, относительно центра тяжести сечения.

2.2. Линии влияния (ЛВ) для многопролетных балок. График, изображающий закон изменения какого-либо фактора при передвижении по сооружению единичной силы, называется ЛВ этого фактора. Величины опорной реакции, момента, поперечной силы определяются, аналогично как в ТМ.

Построение ЛВ кинематическим методом основано на использовании принципа возможных перемещений (ПВП), изучаемого в курсе теоретической механики. Напомним его формулировку: если механическая система находится в равновесии, то сумма работ всех сил на любых возможных перемещениях равна нулю. Возможные перемещения – бесконечно малые перемещения, допускаемые связями. Возможные перемещения направлены по касательной к действительной траектории.

2.3. Определение усилий и опорных реакций. Определение искомых величин от действующей нагрузки определяется также согласно принципу возможных работ. Возможная работа силы определяется скалярным произведением вектора силы на вектор возможного перемещения.

3. Трехшарнирные арки и рамы.

Арочными называются системы криволинейного или ломаного очертания, в опорах которых от вертикальной нагрузки возникают наклонные реакции. Горизонтальная составляющая такой наклонной реакции называется распором.

3.1. Уравнения равновесия.

Трехшарнирная арка является системой геометрически неизменяемой и статически определимой. Такие

системы изучаются в ТМ. В рассматриваемой теме СтрМ при выводе ряда формул, доказательстве некоторых зависимостей используются уравнения равновесия статики.

Так, например, при выводе закона парности касательных напряжений, известных дифференциальных зависимостей момента, поперечной силы, распределенной нагрузки и формулы Журавского выделяется элемент бесконечно малой длины и для него составляются уравнения равновесия.

3.2. АВ для трехшарнирных арок и рам. График, изображающий закон изменения какого-либо фактора при передвижении по сооружению единичной силы строится, согласно аналогичным уравнениям ТМ, в зависимости от продольной ординаты и теоремы о трех силах. Особенностью является учет величины распора и изменения вертикальной координаты. Построение АВ кинематическим методом основано на использовании ПВП, изучаемого в курсе ТМ. Мгновенные центры вращений определяются как мгновенные центры скоростей при плоском движении абсолютно твердых тел.

4. Плоские фермы.

Фермой называется стержневая система, остающаяся геометрически неизменяемой после условной замены её жестких узлов шарнирными.

4.1. Определение усилий в стержнях ферм. Как и в ТМ в СтрМ применяются одинаковые способы при определении усилий в стержнях фермы: вырезания узлов, сквозных сечений (точки Риттера).

4.2. АВ усилий в стержнях ферм. График, изображающий закон изменения какого-либо фактора при передвижении по сооружению единичной силы строится, согласно аналогичным уравнениям ТМ, в зависимости от продольной ординаты и теоремы о трех силах и учета моментных точек.

Построение АВ кинематическим методом основано на использовании теоремы о трех силах и ПВП, изучаемых

в курсе ТМ. Мгновенные центры вращений определяются как мгновенные центры скоростей при плоском движении абсолютно твердых тел.

5. Определение перемещений в упругих системах.

5.1. Принцип возможных работ.

В СтрМ для стержневых систем, стержней с ломаной или круговой осью при определении перемещений применяется теорема о взаимности работ и энергетический метод Мора. Они основаны на известном из ТМ ПВП, применяемом для абсолютно жестких тел. При этом в СтрМ, в качестве возможных, берутся конечные, но малые перемещения, а суммирование заменяется интегрированием. В СтрМ рассматриваются деформируемые тела, поэтому уравнение возможных перемещений записывается в виде суммы возможных работ внешней нагрузки и внутренних сил упругости.

При выводе формулы Мора для вычисления перемещений рассматриваются два состояния системы: грузовое (заданное) и с «единичное» – к системе в том месте, где надо определить перемещение, по направлению искомого перемещения прикладывается единичная сила при определении линейного перемещения или единичный момент при определении углового перемещения. Далее применяется ПВП. Равновесная система сил берется из «единичного» состояния, а возможные перемещения из заданного.

5.2. Потенциальная энергия.

Данное понятие, взятое в ТМ, вводится в СтрМ для вывода в дальнейшем формул при определении перемещений.

5.3. Теоремы о взаимности работ (теорема Бетти) и о взаимности перемещений (теорема Максвелла).

Доказательство данных теорем ведется на основании введенного в ТМ понятия – работа силы.

6. Статически неопределимые системы.

6.1. Принцип возможных работ с применением обобщенных сил и перемещений. В СтрМ применяется метод сил, основанный на принципе возможных перемещений. Статически неопределимую систему превращают в статически определимую. Удаляются n лишних связей и вводятся вместо них обобщенные искомые силы. Обобщенные перемещения, соответствующие неизвестной силе, определяются как сумма двух перемещений. Внешние силы создают обобщенное перемещение. Далее рассматривается система под действием одних только лишних обобщенных реактивных сил. Определяется вызванное ими обобщенное перемещение. Согласно ПВП перемещение, соответствующее лишней обобщенной неизвестной равно нулю (метод сил). Системе канонических уравнений можно также дать энергетическое толкование, излагаемое в ТМ. При нагружении статически неопределимой системы лишние (основные) неизвестные имеют такие значения, при которых потенциальная энергия системы является минимальной. В этом состоит так называемый принцип наименьшей работы.

6.2. Метод перемещений. Отрицание реактивных усилий во введенных заделках и стержнях основной системы, то есть отрицание реактивных усилий по направлению неизвестных перемещений лежит в основе метода перемещений. В методе перемещений за лишние неизвестные принимаются упругие перемещения. При этом пренебрегают влиянием продольных и поперечных сил на действие стержней и учитывают лишь деформации изгиба. Кроме того, не делается различие между первоначальной длиной прямого стержня и длиной «хорды». То есть принимается как в ТМ модель абсолютно твердого тела.

7. Тонкостенные оболочки. Толстостенные трубы.

Уравнения равновесия в полярной системе координат. Рассматриваемые в СтрМ по данной теме

оболочки и трубы являются телами вращения, поэтому положение произвольной внутренней точки (элементарного параллелепипеда) удобно рассматривать в полярной системе координат. При осесимметричном нагружении только от радиуса. При определении напряжений в стенке тонкостенной осесимметричной оболочки под давлением по безмоментной теории: меридиального напряжения и окружного напряжения, рассматривается равновесие элементарного элемента оболочки с соответствующими радиусами кривизны. Так как толщина оболочки невелика, то напряжения по толщине не изменяются. Получаем уравнение Лапласа.

8. Устойчивость сжатых стержней.

8.1. Теорема Лагранжа-Дирихле.

Виды равновесия твердого тела. В ТМ говорится о видах равновесия. При этом при действии продольной нагрузки не допускается изменение прямолинейной формы. При критической силе возможны прямолинейная и криволинейная формы (раздвоение равновесия).

9. Динамическое действие нагрузок.

9.1. Принцип Даламбера.

Уравнения кинетостатики. В СтрМ рассматривается расчет движущихся элементов конструкций с ускорением. Согласно принципу Даламбера вводятся силы инерции. Составление уравнений равновесия проводится с учетом сил инерции согласно уравнению кинетостатики. В СтрМ подобного типа задачи считаются квазистатическими.

9.2. Закон сохранения механической энергии. В ТМ рассматривается задача о падении груза на пружину с жесткостью $-c$. При решении задачи применяется закон сохранения механической энергии. Перемещение определяется с учетом динамического коэффициента (в СтрМ аналогичная формула).

9.3. Законы Галилея – Ньютона. В ТМ изучается колебание материальной точки на основе второго

закона Ньютона, с помощью которого получаем дифференциальное уравнение второго порядка. После математических преобразований получаем определение выражения амплитуды колебаний, с учетом динамического коэффициента при вынужденных колебаниях. В СтрМ применяется точно такая же формула. Разница заключается в определении величин: круговой частоты свободных гармонических колебаний, круговой частоты вынужденных колебаний, коэффициента затухания.

Заключение.

Выше было показано, какие разделы ТМ применяются в СтрМ. Изложенный материал должен использоваться при составлении рабочих программ на кафедре ТМ. Также необходимо учитывать последовательность изложения в зависимости от рабочего плана по СтрМ по соот-

ветствующей специальности. То есть необходимо взаимоувязывать рабочие планы. Это позволит не дублировать один и тот же материал (например, удар, колебания), взаимоувязывать и показывать связь между предметами. При этом у студентов появляется стимул к изучению предметов. Выше сказанное особенно надо учитывать при уменьшающемся количестве аудиторных часов на изучение курсов СтрМ и ТМ [3].

Кроме того отметим, что должна существовать возможность для поддержания самовоспроизводящейся и развивающейся системы. Что не учитывается в количестве выделяемых часов при двухуровневом образовании при изучении ТМ для выхода на второй уровень (магистратура).

ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьева Н.А. Междисциплинарное взаимодействие кафедр теоретической механики и строительной механики / Н.А. Григорьева, О.Н. Попов // Проблемы инженерного образования: материалы регион. науч.-метод. конф., 30–31 марта 2010 г. / Том. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Томск, 2010. – С. 32–35.
2. Веретенников В.Г. Теоретическая механика (дополнения к общим разделам) / В.Г. Веретенников, В.А. Синицын. – М., 2006. – С. 376–377.