

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ КОЛЕБАНИЙ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

О. Н. Шабловский

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого», Беларусь*

В докладе представлена структура изложения основных элементов теории колебаний механических систем для студентов машиностроительных специальностей технического университета. Сформулируем основные положения доклада.

1. Колебания – это движения или процессы, обладающие той или иной степенью повторяемости во времени. Колебания свойственны всем явлениям природы. Колебания сооружений и машин, электромагнитные колебания в радиотехнике и оптике, автоколебания в системах регулирования и следящих системах, звуковые и ультразвуковые колебания, ряд сложных процессов экологии, экономики – все эти, казалось бы, различные и непохожие друг на друга колебательные процессы объединяются методами математической физики в одно общее учение о колебаниях. Рассмотрение вопросов теории и ее практических приложений должно быть представлено таким образом, чтобы формальные математические методы не заслоняли физическое содержание колебательных явлений и эффектов.

2. Основные этапы разработки теории колебаний механических систем состоят в следующем:

(A_1) – рассмотрение всех существенных сторон изучаемого процесса;

(A_2) – отбрасывание несущественных свойств, удержание принципиально важных закономерностей; составление математической модели процесса;

(A_3) – изучение построенной математической модели качественными методами теории дифференциальных уравнений; разработка аналитических подходов к решению задачи; применение методов численного моделирования;

(A_4) – анализ полученных результатов, их физическое истолкование; технические рекомендации, относящиеся к благоприятным и неблагоприятным условиям функционирования изучаемых машин и механизмов.

3. Малые колебания механических систем относятся к наиболее полно разработанным в методическом отношении вопросам теории колебаний. Сюда традиционно включаются свободные и вынужденные колебания систем с одной и с двумя степенями свободы. Здесь наиболее важной в физическом и в мировоззренческом отношении является проблема влияния сил сопротивления на основные параметры движения. Для иллюстрации основных положений теории малых колебаний полезны следующие задачи: колебания поршня в гидравлическом демпфере; виброизоляция вынужденных колебаний; колебания маятника в сопротивляющейся среде; резонансные ситуации при колебаниях балки, на которой установлен мотор.

В разнообразных технических приложениях все большее значение приобретает вибрационная механика. В данном случае речь должна идти о механических колебаниях, период которых много меньше масштаба времени, на котором рассматривается движение системы, и амплитуда колебаний значительно меньше характерного линейного размера системы. В методическом и методологическом отношении важно, что должны быть изучены не только вредные воздействия вибрации (поломка механизмов, производственные заболевания), но и полезные направления использования вибрации: интенсификация физико-механических процессов; обработка деталей машин; гашение и усиление вибрации.

4. Параметрические колебания. Здесь очень важны примеры, демонстрирующие новые качественные свойства колебаний систем с переменными параметрами. А именно: горизонтальные и вертикальные колебания точки подвеса математического маятника; математический маятник, длина которого меняется по гармоническому закону. Неклассические ситуации:

(B_1) – под действием восстанавливающей силы, противодействующей отклонению точки от положения равновесия, возникает резонанс – происходит неограниченный рост амплитуды;

(B_2) – несмотря на действие диссипативной силы, колебания не затухают, а происходят с постоянной амплитудой;

(B_3) – параметрический резонанс – неустойчивый режим движения, при котором система, которую вывели из положения равновесия, автоматически себя раскачивает: колебания с каждым новым периодом увеличиваются.

Полезной в практическом отношении задачей является изучение условий устойчивости вертикального состояния равновесия опрокинутого (обращенного) маятника, точка подвеса которого совершает вертикальные гармонические колебания. Важность этого примера в том, что неустойчивому положению равновесия можно придать устойчивость с помощью вибраций достаточно высокой частоты.

5. Автоколебательные системы. При обсуждении математической модели автоколебательной системы нужно изложить основные теоретические сведения о фазовом портрете динамической системы с одной степенью свободы. Существенно, что процесс происходит под действием трех сил: консервативная сила; диссипативная сила, которая за один период рассеивает энергию тем большую, чем больше амплитуда; активная сила, которая вносит в систему тем больше энергии, чем меньше амплитуда. Отличие автоколебаний от вынужденных колебаний и от параметрических колебаний в том, что возникновение автоколебаний не связано с действием периодической внешней силы или с периодическим изменением параметров системы. Автоколебания возникают за счет неперiodических источников энергии и обусловлены внутренними связями и взаимодействиями в самой системе. Одним из признаков автоколебательной системы может служить наличие обратной связи, которая управляет расходом энергии неперiodического источника.

Выразительный пример автоколебаний можно наблюдать для механической системы, состоящей из трех элементов: ведущее звено (тележка), которое движется с постоянной скоростью; груз, который скользит на шероховатой поверхности и испытывает воздействие силы сухого трения; упругий элемент (пружина) расположен между тележкой и грузом. Суть задачи в том, что равномерный режим движения тележки может оказаться неустойчивым, и при определенных условиях около него возникают автоколебания.

Для студентов инженерных специальностей освоение главных элементов теории колебаний механических систем может послужить основой для перехода к быстро развивающимся областям нелинейной динамики, имеющим эффективное применение в различных отраслях техники.