

Литература

1. Способ изготовления полого композиционного изделия : пат. Респ. Беларусь № 3933 / Н. И. Стрикель, Ю. Л. Бобарикин, М. И. Лискович ; заявитель Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Оpubл. 06.03.2001.
2. Стрикель, Н. И. Анализ напряженного состояния при совместной вытяжке покрытия и основы / Н. И. Стрикель, Ю. Л. Бобарикин, М. И. Лискович // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2000. – № 2. – С. 5–14.

АНАЛИЗ УДАРНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ДИНАМИКЕ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Е. В. Койпиш

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

Научный руководитель Н. В. Иноземцева

Любое транспортное средство в течение своей эксплуатации неоднократно подвергается действию ударных нагрузок [1]. Подобные нагрузки характеризуются большей опасностью по сравнению со статическими нагрузками подобной величины [2]. Целью данной работы является обзор методов анализа динамического поведения объектов под действием ударных нагрузок разной природы применительно к исследованию транспортных средств. В зависимости от природы динамического воздействия и необходимой точности моделирование можно производить различными методами.

Для многих процессов достаточную точность может обеспечить замена ударного процесса на обычное силовое воздействие, т. е. приложение к конкретным точкам конструкции системы сил, меняющихся по определенному закону.

В качестве примеров процессов, которые с высокой степенью достоверности заменяются простым силовым воздействием, можно привести процессы наезда транспортным средством на препятствие [3]. Иначе говоря это те процессы, в которых поведение источника динамической нагрузки слабо зависит от процесса деформирования корпуса, а также процессы, нагрузки от которых являются локальными по сравнению с исследуемой зоной деформирования.

Методика замены ударных явлений силовым эквивалентом заключается в том, что контактное взаимодействие инородных объектов с корпусом транспортного средства исходя из информации о характере поведения этих объектов заменяется на силовую динамическую и статическую нагрузку, которая заставляет корпус транспортного средства деформироваться аналогичным образом. Таким образом, динамическое силовое воздействие может задаваться тремя законами:

- импульсная нагрузка;
- динамическое нагружение области исследуемой конструкции нагрузкой, изменение которой зависит только от времени;
- подвижная нагрузка: динамическое нагружение локальной области конструкции или всей конструкции нагрузкой, изменение которой зависит как от времени, так и от координат.

Для формулировки исходной задачи можно использовать вариационный подход, а также непосредственно законы сохранения энергии, импульса и других фундаментальных величин; можно для вывода уравнений модели применять приближенное решение, полученное методом смягчения краевых условий [4].

При невозможности подобрать эквивалентную силовую нагрузку необходимо полностью моделировать процесс взаимодействия системы деформируемых сплош-

ных сред, результатом которого будет динамическое воздействие на корпус автомобиля. Примером второго типа процессов может выступать явление соударения корпуса с препятствием, т. е. процессы, в которых природа возникновения ударной нагрузки зависит от поведения конструкции.

В настоящее время известно несколько подходов к описанию движения деформируемой сплошной среды [5]. К ним относятся метод Лагранжа, метод Эйлера и лагранж-эйлеров подход. Рассмотрим некоторые особенности реализации каждого из перечисленных выше подходов применительно к транспортным средствам [5].

При описании движения по Лагранжу следят за тем, что происходит в каждой индивидуальной частице среды. Частицы движутся, и приборы, измеряющие их параметры, следуют за каждой из них, например движутся вместе с ними. С точки зрения Лагранжа интересуются законами изменения скорости, температуры, давления и других величин для данной индивидуальной точки среды. Применительно к транспортным средствам в основе метода лежат уравнения сохранения массы, количества движения и внутренней энергии, а также замыкающее эту систему определяющее соотношение. Для решения задачи используются методы пространственной и временной дискретизации. В основе пространственной дискретизации лежит метод конечных элементов, в основе временной дискретизации – центральная дифференциальная схема интегрирования первого и второго порядка точности. Этот подход имеет ограниченное применение для решения задач с большим формоизменением. Сильное искажение деформируемой сетки, особенно в зоне контакта, может привести к появлению в полученном решении нефизических эффектов.

При описании однокомпонентного движения по Эйлеру изучается, что происходит в точках пространства, через которое движется среда. Обычно этот подход используется, когда не важно знать историю движения каждой индивидуальной частицы – где она была когда-то, куда попадет в будущем, а важно лишь знать, что происходит в данном месте. Величины, характеризующие движение сплошной среды, рассматриваются при эйлеровом подходе как функции пространственных координат и времени. При решении задач при этом подходе узлы деформируемой сетки могут перемещаться в пределах области, которую занимает материал таким образом, чтобы уменьшить искажения сетки. Относительное движение между материалом и деформируемой сеткой требует учета дополнительных членов в уравнениях сохранения энергии. Следует заметить, что вместе с материалом через сетку переносится ряд переменных, которые характеризуют состояние и историю деформирования материальных частиц. К их числу относятся, например, плотность, температура, степень деформации и др. Данные переменные называются историческими переменными. В эйлеровом подходе узлы не следуют за течением материала. Имеет место перетекание материала между элементами. Это усложняет уравнение сохранения энергии. В ходе решения сначала вычисляется лагранжева производная по времени и исторические переменные. Затем определяется относительное движение между сеткой и материалом, а исторические переменные приводятся к узлам и элементам неподвижной сетки. Усложненная петля интегрирования по времени дифференциальных уравнений включает следующие операции: вычисление узловых нагрузок, вычисление узловых ускорений, вычисление узловых скоростей, вычисление приращений перемещений и перемещений, выравнивание сетки, адвекционный шаг, вычисление деформаций в элементах, вычисление напряжений в элементах. В эйлеровом подходе после выполнения лагранжевого шага узлы возвращаются в свое начальное положение.

В многокомпонентном эйлеровом подходе два или более материала могут смешиваться в одном элементе. Каждый элемент эйлеровой сетки содержит определенную часть (фракцию) представленного в рассматриваемой системе материала. Границы заполненных материалом областей определяются по заданному предельному значению фракции.

В ситуации, когда одна часть системы ведет себя как жидкость, а другая – как твердое тело, для описания движения твердой части может быть применен лагранжевый подход, а для описания движения жидкости – эйлеровый. В этом случае при моделировании взаимодействия рассматриваемых частей может быть использован алгоритм лагранжево-эйлерового связывания. Наиболее распространенными методами лагранж-эйлерового связывания являются метод ограничения и метод штрафа. Метод ограничения напрямую изменяет скорости жидкости и структуры таким образом, что их движение становится согласованным. Алгоритм обеспечивает выполнение уравнения сохранения количества движения, но не обеспечивает выполнения уравнения сохранения энергии. Метод штрафа основывается на определении относительного перемещения между жидкостью и структурой, по которому в систему добавляются пропорциональные этому перемещению силы. Они прикладываются и к структуре, и к жидкости. При этом движение структуры и жидкости становится согласованным. Этот метод обеспечивает выполнение уравнения сохранения энергии, но не так стабилен, как метод ограничения.

Долгое время сложность моделирования ударных процессов и невысокая производительность вычислительных средств не позволяли проводить математическое моделирование сложных и сверхсложных механических систем, ярким примером которых являются транспортные средства, с необходимой точностью. Описанная методика позволяет получить решение об ударном воздействии на корпус транспортного средства с необходимой точностью. В зависимости от типов механического поведения описываемых процессов, следствием которых является ударное нагружение корпуса транспортного средства, и требуемой точности необходимо выбирать один из описанных методов. Основой для выбора одного из приведенных методов должно являться качественное сопоставление результатов расчета и результатов эксперимента.

Л и т е р а т у р а

1. Интегрированные методы исследования прочностных, жесткостных и динамических характеристик элементов сложных механических систем / Г. В. Гриценко [и др.] // Механика та машинобудування. – 2002. – № 1. – С. 6–13.
2. Зукас, Дж. А. Динамика удара / Дж. А. Зукас. – М. : Мир, 1985. – 110 с.
3. К вопросу интегрированных систем анализа динамических процессов в корпусах транспортных средств специального назначения / А. Ю. Васильев [и др.] // Механіка та машинобудування. – 2004. – № 1. – С. 46–55.
4. Кандидов, В. П. Метод конечных элементов в задачах динамики / В. П. Кандидов, С. С. Чесноков, В. А. Выслоух. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1980. – 165 с.
5. Музеймек, А. Ю. Математическое моделирование удара и взрыва в программе LS-DYNA : учеб. пособие / А. Ю. Музеймек, А. А. Богач. – Пенза : ПГУ, 2005. – 106 с.