

УДК 625.245.6

А. А. ОЛЬШЕВСКИЙ, кандидат технических наук, М. А. ОЛЬШЕВСКАЯ, аспирант, А. А. МИЛЬТО, студент, Брянский государственный технический университет, Российская Федерация

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОГЛОЩАЮЩЕГО АППАРАТА ПМКП-110

Разработан и внедрен в пакет конечно-элементного анализа DSMFEM программный модуль, позволяющий решать с учетом трения скольжения задачу контакта множества тел методом сил. Построены конечно-элементные модели для различного хода поглощающего аппарата, произведены расчеты с целью исследования НДС ПМКП-110 при различных нагрузках. Проведен анализ НДС исследуемого объекта, выявивший существенную неравномерность распределения контактных давлений на рабочих поверхностях.

Для соединения вагонов с локомотивом и между собой применяют ударно-тяговые механизмы (сцепки), которые передают тормозные и тяговые усилия при езде. Увеличение веса поездов и грузоподъемности вагонов, рост скорости их движения и интенсивности маневровых операций приводят к возникновению ударов большой силы, воспринимаемых сцепным устройством, эффективным средством снижения которой является применение специальных амортизаторов, обеспечивающих преобразование кинетической энергии соударяющихся вагонов в другие виды. Примером такого амортизатора является комбинированный поглощающий аппарат ПМКП-110 (рисунок 1).

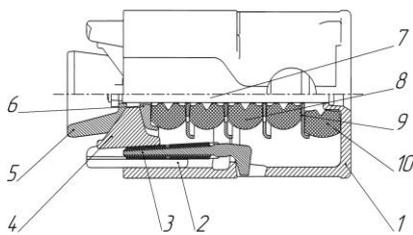


Рисунок 1 – Устройство аппарата ПМКП-110:

1 – корпус; 2 – подвижные пластины; 3 – неподвижные пластины; 4 – клинья; 5 – нажимной конус; 6 – опорная плита; 7 – стяжной болт с гайкой; 8 – полимерные блоки; 9 – центрирующие пластины; 10 – опорный элемент

Фрикционная часть аппарата включает в себя корпус, подвижные пластины, неподвижные пластины, клинья, нажимной конус, опорную плиту.

Конструкция аппарата такова, что при наличии нагрузки все элементы фрикционной части устройства приходят в движение, растрчивая максимальное количество энергии на преодоление сил трения скольжения. Внешняя нагрузка прикладывается к нажимному конусу и подвижным пластинам. Нажимной конус, двигаясь под действием внешних сил, начинает давить на клин, в то время как с обратной стороны на клин давит опорная плита, прижимаемая к нему сжатыми полимерными блоками. Конус и плита вместе прижимают клин к неподвижной пластине, которая, в свою очередь, прижимает подвижную пластину к корпусу. Основное поглощение энергии происходит на поверхностях трения подвижной и неподвижной пластин. Поглощение энергии на поверхностях нажимного конуса и опорной плиты невелико, однако силы трения на этих поверхностях существенно влияют на усилия взаимодействия остальных деталей, и изменение направления сил трения на этих поверхностях определяет существенное различие сил на аппарате при прямом и обратном ходах.

Расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) осуществлялся методом конечных элементов (МКЭ). Конечно-элементная дискретизация выполнена с использованием восьмиузловых конечных элементов. В расчетную схему аппарата включены детали клиновой системы аппарата: подвижная пластина, неподвижная пластина, клин, нажимной конус, опорная плита, а также часть корпуса – от открытого края до упора неподвижной пластины. С учетом наличия двух плоскостей симметрии расчетная схема сокращена до четверти сборочной модели аппарата путем введения дополнительных связей.

Действие полимерных блоков на опорную плиту заменено силой, пропорциональной величине хода аппарата с учетом начальной затяжки (от 200 до 500 кН).

В модели введено пять контактных поверхностей. В зависимости от хода аппарата число контактных пар варьируется от 950 до 1658.

Для учета сил трения в расчетной схеме указаны векторы направления скольжения поверхностей контакта, а также коэффициенты трения для контактных поверхностей:

- 0,417 – для контакта сталь-сталь на рабочих поверхностях;
- 0,394 – для контакта сталь-керамика;
- 0,197 – для контакта сталь-сталь на вспомогательных поверхностях [1].

Задание контакта производится с помощью контактных конечных элементов, которые строятся на шести узлах: активном (n_a), пассивном (n_p) и четырех вспомогательных ($n_1 - n_4$). Активный узел принадлежит одной поверхности контакта, а пассивный и вспомогательные – другой [2]. Активный и пассивный узлы расположены в непосредственной близости друг от друга. В случае соприкосновения поверхностей на них действуют контактные силы. Вспомогательные узлы нужны для определения направления нормали к поверхности и площади поверхности, связанной с контактным элементом (рисунок 2).

Одним из распространенных методов решения контактной задачи в конечно-элементной постановке является метод нижней релаксации с пошаговым приложением нагрузки [3]. Его основным недостатком является повышенный объем требуемых вычислений. Метод верхней релаксации лишен этого недостатка, однако позволяет учесть трение в контакте лишь приближенно. В целом, обе модификации метода слишком требовательны к вычислительным ресурсам и не позволяют с приемлемой скоростью решать контактную задачу для исследуемого поглощающего аппарата. Кроме того, принципиально

Если взаимодействующие тела движутся, и направление движения известно, то при решении контактной задачи методом сил могут быть учтены силы трения. Для этого при формировании матрицы канонических уравнений метода сил помимо единичных усилий в направлении нормали прикладываются и касательные силы, величина которых соответствует расчетному коэффициенту трения, а направление – заданному направлению движения.

Распределение контактных давлений и напряжений в конструкции представлено на рисунке 5.

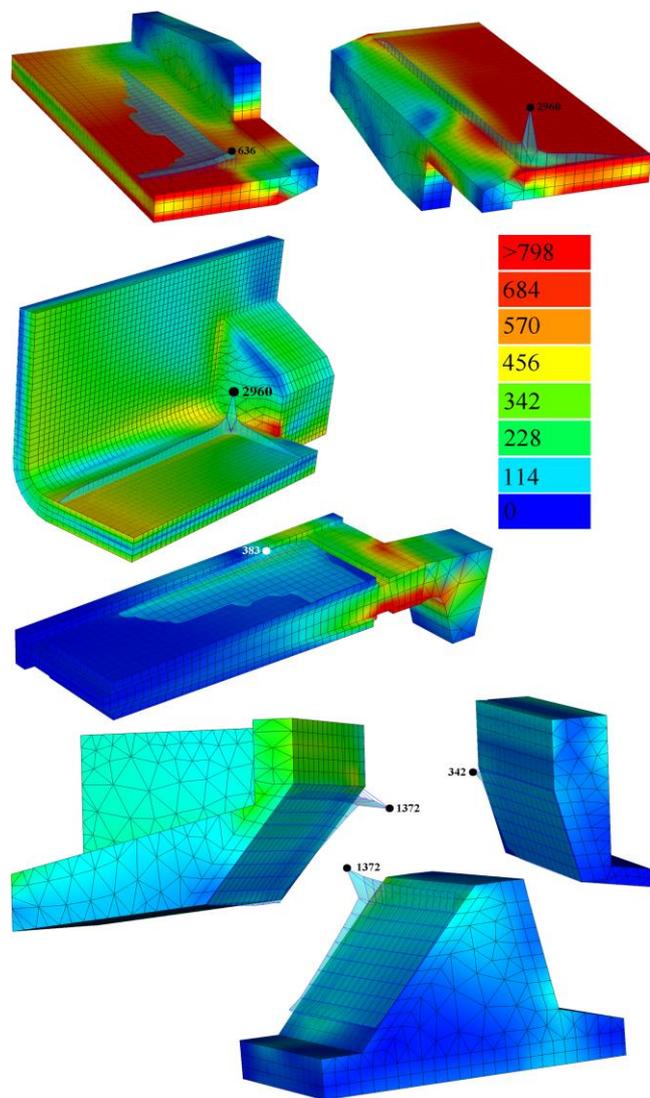


Рисунок 5 – Распределение напряжений и контактных давлений на поверхности подвижной пластины и корпуса (ход 100 мм), МПа

Получено 04.06.2012

A. A. Olshevsky, M. A. Olshevskaya, A. A. Milto. Stress-strain state analysis of cushion unit PMKP-110.

To solve the problem of contact between several deformable solids, new program module was developed and integrated into DSMFem, the finite element analysis package. The module is based on flexibility method, that allows taking account of sliding friction. Finite element models were built for different loading cases of center coupler cushion unit. Stress-strain states were computed and analyzed. Nonuniformity of contact pressures was subsisted and several ways to solve it were described.

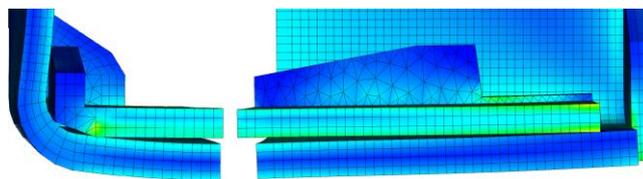


Рисунок 6 – Контакт корпуса и подвижной пластины. Масштаб деформаций 7:1

Достоинством метода сил является возможность разделения решения задачи на два этапа – формирование системы канонических уравнений, что по сути является решением задачи статики от многих нагрузок для данной системы тел (около 25 минут) и последующее определение контактных давлений (несколько секунд). Это позволяет использовать данный алгоритм для процессов изнашивания, что в свою очередь позволяет определить перераспределение контактных давлений по мере износа.

Значительные деформации корпуса вызваны его высокой податливостью. В сочетании с высокой жесткостью деталей клиновой системы контакт подвижной пластины со стенкой корпуса происходит по двум линиям, при этом наблюдаются высокие напряжения в подвижной пластине. В отдельных точках корпуса и подвижной пластины напряжения достигают (а иногда и превышают) предел текучести, что ставит задачу учета пластических деформаций при решении контактной задачи.

Уровень контактных давлений очень высокий. С учетом взаимной приработки и износа деталей аппарата площадь пятна контакта будет постепенно увеличиваться. Однако визуальная оценка износа при испытаниях показывает, что даже после 300 циклов нагружения с максимальным ходом в центральной части подвижной пластины контакт с корпусом отсутствует.

Пятна контакта на вспомогательных и других рабочих поверхностях имеют большую площадь, что вызвано значительной жесткостью тел клиновой системы. Для снижения контактных давлений можно: уменьшить податливость корпуса путем добавления ребер жесткости; изменить форму пластины в поперечном сечении; изменить форму металлокерамических вставок.

Список литературы

- 1 **Болдырев, А. П.** Расчет и проектирование амортизаторов удара подвижного состава / А. П. Болдырев, Б. Г. Кеглин. – М. : Машиностроение, 2004. – 199 с.
- 2 **Ольшевский, А. А.** DSMFem: руководство пользователя [Электронный ресурс] / А. А. Ольшевский, К. В. Шевченко. – Электрон. дан. – Загл. с экрана.
- 3 **Сакало, В. И.** Контактные задачи железнодорожного транспорта / В. И. Сакало, В. С. Косов. – М. : Машиностроение, 2004. – 496 с.
- 4 **Джонсон, К.** Механика контактного взаимодействия / К. Джонсон. – М. : Мир, 1989. – 510 с.