

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ НА РЕЗУЛЬТАТ ГАРМОНИЧЕСКОГО ВИБРАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ТЕЛО ЧЕЛОВЕКА

*Е.Ю. Салатун, И.П. Палатинская*

Вибрация как фактор производственной среды встречается в большинстве производств, промышленности, на транспорте. Доля рабочих мест водительского состава, не отвечающих требованиям санитарного законодательства по вибрационной нагрузке, в 2009 г. в целом по РФ снизилась на 9 %, однако в предыдущие годы существовала тенденция к росту таких рабочих мест (2006 г. – 19,43 %, 2007 г. – 18,32 %, 2008 г. – 24,32 %) [1], при этом растет и их профессиональная заболеваемость. Одной из причин развития у работников транспорта профзаболеваний, таких как виброболезнь, пояснично-крестцовая радикулопатия, моно- и полинейропатия, является несовершенство нормативной базы по воздействию производственной вибрации. Анализ действующей нормативной документации [2–5] выявил неизменность подхода к нормированию вибрации за последние 45 лет.

В нормативной документации тело человека рассматривают как упругое неделимое, а отклик его на вибровоздействие как механический импеданс [3]. Однако человеческое тело имеет сложную структуру и разные сегменты тела должны реагировать на внешнее вибрационное воздействие по-разному. Поэтому была поставлена задача создания модели виброн нагруженного тела человека. Разработка такой модели – сложная трудоемкая задача, требующая тщательной проработки, длительного исследования виброн нагруженности систем и органов человека. Изучение виброн нагружения тела человека проведено в программном комплексе Ansys. Задачи по исследованию вибровоздействия в Ansys подразумевают проведение расчета форм и частот собственных колебаний (модальный анализ) и расчета вынужденных колебаний (гармонический анализ) [6].

Исследование виброн нагруженности предлагается проводить в три этапа. Первый этап подразумевает исследование простых геометрических форм тела, второй – исследование виброн нагруженности позвоночника человека, третий – исследование виброн нагруженности всего тела человека.

На первом этапе геометрия модели тела человека описывалась в виде куба, шара, цилиндра и усеченного конуса [7]. Результаты расчетов (рис. 1) показали, что геометрическая форма тела оказывает существенное влияние на результат гармонического вибрационного воздействия. Нельзя моделировать виброн нагруженное тело человека в виде куба, шара и цилиндра нельзя, так как отклики моделей на внешнее воздействие значительно отличаются между собой; введение антропометрических признаков в модели выявило и различный отклик их оснований. Таким образом, тело человека нельзя представить как неделимое упругое.

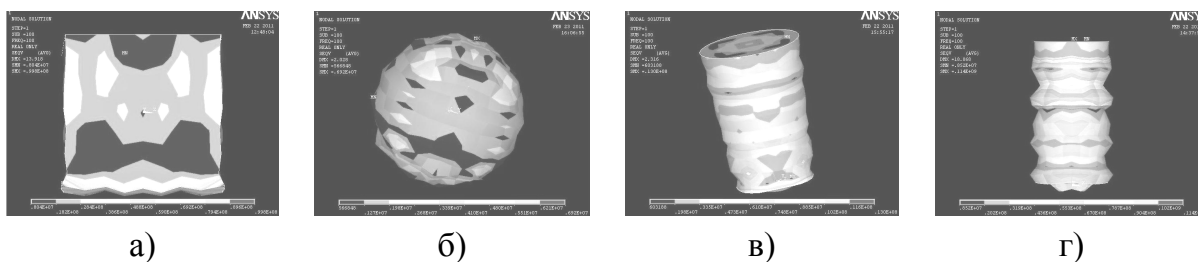


Рис. 1. Распределение эквивалентных по Мизесу напряжений: а – Модель «Куб»; б – Модель «Шар»; в – Модель «Конус»; г – Модель «Цилиндр»

На втором этапе решено исследовать модель виброн нагруженного позвоночника человека, как наиболее уязвимую систему для внешнего вибрационного воздействия, ведь это основа опорно-двигательного аппарата человека. Целью исследования было выявить влияние особенностей строения позвоночника. Позвоночник выполняет ряд функций, представляет собой гибкий стержень, состоящий из 7 шейных, 12 грудных и 5 поясничных позвонков, остальные – сросшиеся позвонки образуют две кости: крестец и копчик. Позвонки имеют разное строение и разные упругодемпфирующие свойства, и величина их тел возрастает от шейного отдела к крестцовому отделу позвоночного столба, рис. 2 [8].



Рис. 2. Позвоночник тела человека и его отделы

Для исследования были созданы две модели звена поясничного отдела позвоночника: первая состоит из двух позвонков, между которыми находится межпозвоночный диск, защищенные мышцей; во второй мышцу покрывает еще жировая ткань. Проведенные модальный и гармонический анализы, позволили сделать вывод, что присутствие жировой ткани (вторая модель) больше способствует затуханию колебаний, возникающих в позвоночнике, в результате воздействия вибрации. Это происходит за счет перераспределения виброн нагруженности, а именно, жировая ткань компенсирует (гасит) часть полученной вибрационной нагрузки, рис. 3 а, б.

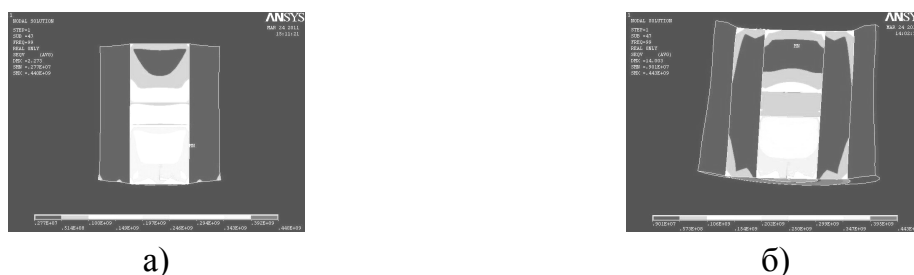


Рис. 3. Распределение эквивалентных по Мизесу напряжений: а – первая модель; б – вторая модель

Далее на этом же этапе были рассмотрены еще две модели участка позвоночника, каждая из которой состояла из четырех позвонков, между которыми в первом случае были разные по вязко-упругим свойствам межпозвоночные диски, во втором – одинаковые, покрыты они были мышечной и жировой тканью. После проведенных расчетов было видно, что в целом у обеих моделей качественное распределение эквивалентных напряжений схоже, но количественное распределение различно, рис. 4 а, б. Анализ результатов доказал, что присутствие межпозвоночных дисков с разными вязко-упругими свойствами лучше гасит вибронагрузку (приводит к большему затуханию колебаний), в отличие от дисков с одинаковыми свойствами. Следовательно, позвоночник следует не только разделять на позвонки и межпозвоночные диски, но и учитывать особенности каждого отдела, упругие и демпфирующие свойства шейных, грудных и поясничных дисков.



Рис. 4. Распределение эквивалентных по Мизесу напряжений:  
а – модель с разными дисками; б – модель с одинаковыми дисками

Итак, на третьем этапе следует учесть результаты и выводы двух предыдущих, а именно нельзя рассматривать позвоночник человека как непрерывный криволинейный стержень, а тело человека как неделимое упругое. В теле человека необходимо не только выделять сегменты, состоящие из большого количества элементов, но и учитывать их свойства и функционально-морфологические особенности.

**Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 10-07-96007-р\_урал\_а).**

#### Библиографический список

1. Салатун, Е.Ю. Аналитический обзор о производственной вибрации в РФ / Е.Ю. Салатун, И.П. Палатинская // Достижения науки – агропромышленному производству: материалы L Междунар. науч.-техн. конф. / под ред. Н.С. Сергеева. – Челябинск: ЧГАА, 2011. – Ч. VI. – С. 122–127.
2. СН 2.2.4/2.1.8.566–96 Производственная вибрация в помещениях жилых и общественных зданий: Официальное издание, Минздрав России. – М.: Информационно-издательский центр, 1997. – 24 с.
3. ГОСТ 12.4.094–88 ССБТ Метод определения динамических характеристик тела человека при воздействии вибрации. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 24 с.

4. ГОСТ 31194.1–2004 (ИСО 13090-1:1998) Вибрация и удар. Меры безопасности при проведении испытаний с участием людей. Общие требования – М.: Стандартинформ, 2008. – 18 с.

5. ГОСТ 31191.1–2004 (ИСО 2631-1:1997) Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 1: Общие требования – М.: Стандартинформ, 2008. – 32 с.

6. Моделирование тела человека в инженерном пакете программ Ansys / Е.Ю. Салатун, М.А. Кожевников, Н.Ю. Долганина, И.П. Палатинская // Экология. Риск. Безопасность: материалы Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 т. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2010. – Т. 1. – С. 155.

7. Салатун, Е.Ю. Исследование геометрических форм тела человека. / Е.Ю. Салатун, И.П. Палатинская // Безопасность жизнедеятельности глазами молодежи: сб. материалов II Всерос. студен. конф. (с международным участием). – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. – С. 270–274.

8. Сапин, М.Р. Анатомия человека: в 2 кн. Кн. 1: Опорно-двигательный аппарат. Внутренние органы (пищеварительная и дыхательная системы) / М.Р. Сапин – М.: Оникс: Альянс-В, 2000. – 462 с.