

## ПРИМЕНЕНИЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ В MSC.ADAMS ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ АГРЕГАТОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

<sup>1</sup>Лопух Д.Г., <sup>2</sup>Мезга Д.В., к.ф.-м.н. <sup>2</sup>Ширвель П.И.

<sup>1</sup>ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси», Минск

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск

**Введение.** В настоящее время программная платформа ADAMS [1] широко используется для решения задач динамики сложных систем абсолютно жестких тел. Следует подчеркнуть, что сейчас в прикладных задачах зачастую необходимо на основе полученных динамических расчетов найти напряженно-деформированное состояние какого-нибудь узла технической системы [2]. Для этого можно использовать технологии экспорта данных, полученных в результате динамического расчета, в пакеты конечно-элементного анализа (ANSYS [3], ABAQUS, Nastran). Заметим, что при таком подходе к расчету для габаритных систем возможны значительные погрешности, т.к. в ADAMS есть возможность учитывать только перемещения относительно шарниров и не учитываются упругие и пластические свойства конструкции [1, 3]. Для решения этой проблемы существует специальный модуль ADAMS/Flex – модуль учета упругих свойств составных частей исследуемого объекта путем импорта их модальных моделей из конечно-элементных программных систем.

**Постановка задачи:** согласно ГОСТ 31323-2006 (ISO 5008:2002) [4] испытания тракторов сельскохозяйственных колесных и машин для полевых работ проводят на двух участках пути:

- участок дороги с неровной поверхностью протяженностью 35 метров;
- участок дороги с гладкой поверхностью протяженностью 100 метров.

Каждый участок включает в себя две параллельные полосы. Каждая полоса определяется через ординаты ее поверхности относительно основания. Для неровного участка ординаты задаются через 80 мм, а для гладкого участка – с интервалом 160 мм. Моделирование [2] проводится со скоростями 7 и 25 км/ч соответственно. Виртуальная модель самоходного опрыскивателя должна полностью воспроизводить динамику реального транспортного средства. Построенная модель представлена на рис. 1.

Для анализа критических нагрузок, возникающих в элементах штанг были выбраны шарниры с одной стороны соединяющие секции между собой, а с другой – крепящие их к поворотной стойке.

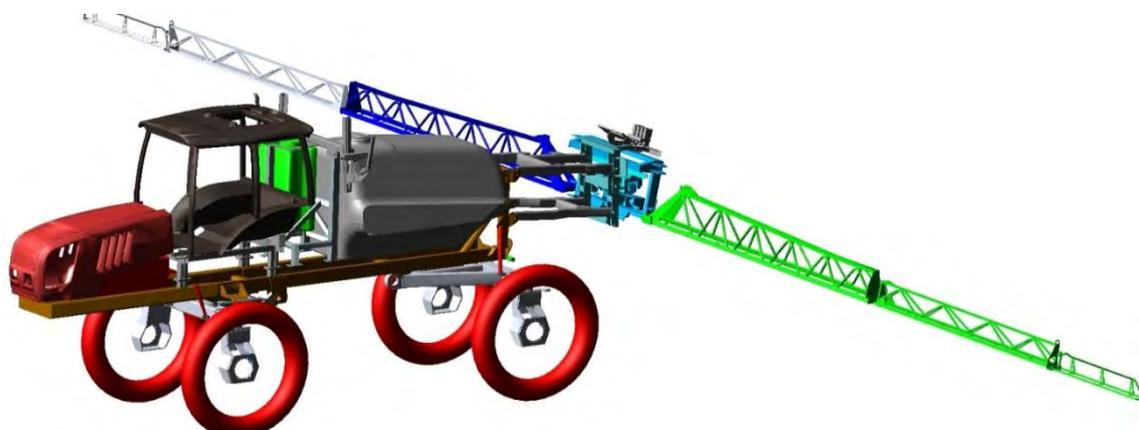


Рис. 1. Виртуальная модель самоходного опрыскивателя с разложенными штангами

## Пример реализации процедур расчета

1. Сперва по твердотельным моделям штанг были реализованы конечно-элементные модели в виртуальной среде CAE ANSYS [5-7]. Конкретно в рассматриваемом случае, с целью ускорения расчета и уменьшения затрат вычислительных мощностей, конструировались балочно-оболочечные модели штанг.

2. При построении модели, которая в дальнейшем будет использоваться в пакете ADAMS, важным моментом является правильное задание ключевых точек взаимодействия (*Interface Points*). Точки взаимодействия – это узлы, к которым будут приложены шарниры и силы. Отметим, что в системе ADAMS, силы могут быть применены только к таким объектам как *Interface Points*.

При создании точек взаимодействия необходимо учитывать следующие факторы:

- каждая такая точка должна иметь шесть степеней свободы;
- сила должна распределяться по поверхности, а не передаваться только на один узел;
- при отсутствии узла, к которому можно приложить силу или шарнир, необходимо создать геометрическое место для такого узла.

Отметим, что есть несколько основных способов создания точек взаимодействия:

- а) создание *Rigid Region* с использованием элемента типа MASS21.
- б) методом *Spider web*, создание пучка из балок [8].

В настоящем исследовании использовался второй способ. Для пучка балок применялся материал с высокой жесткостью и низкой массой, тип конечных элементов - BEAM188. Пример построенного пучка из балок представлен на рисунке 2.

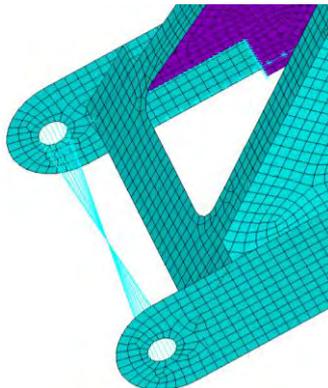


Рис. 2. Пример созданного пучка из балок

Здесь следует подчеркнуть, что для экспорта в ADAMS необходимо, чтобы модель имела не менее двух точек взаимодействия.

3. Передача расчетных данных. Данные в ADAMS передаются по средством .mnf файла. Для его создания заходим в Solution/ADAMS Connection/Export to ADAMS. Выбираем созданные точки взаимодействия. Жмем ОК. Нажимаем на кнопку Solve and export file to и ADAMS. Решатель и постпроцессор ANSYS произведет модальный анализ и самостоятельно создаст файл с расширением .mnf.

#### 4. Импорт данных.

Чтобы импортировать .mnf файл в ADAMS воспользуемся модулем ADAMS/Flex – на главной панели управления выбираем опцию Build/Flexible Bodies/Adams/Flex. Сегменты штанг объединяем шарнирами в точках взаимодействия и прикрепляем их к модели самоходного опрыскивателя.

Далее проводим динамический расчет. Результаты для одного из шарниров, при движении на скорости 25 км/ч, представлены на рисунках 3а и 3б.

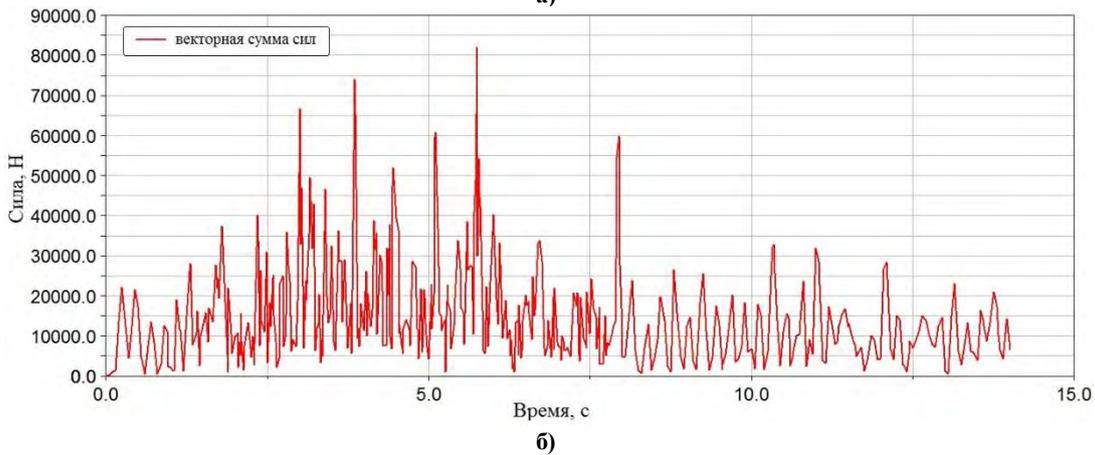
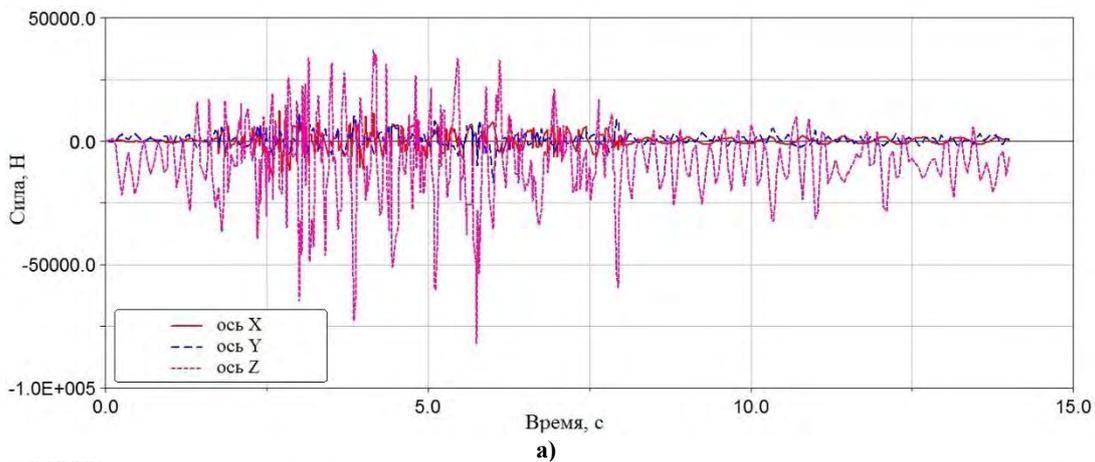


Рис. 3. а) График сил в продольной (X), вертикальной (Y) и поперечной (Z) плоскостях в точке; б) график векторной суммы сил в точке

На рисунке 3а представлен график сил в продольной (X), вертикальной (Y) и поперечной (Z) плоскостях в выбранном шарнире. На рисунке 3б представлен график векторной суммы сил в шарнире. Максимальные нагрузки составляют: в плоскостях X – 13,9 кН; Y – 16,6 кН; Z – 82,0 кН, максимальная величина суммы сил – 82,1 кН.

5. Экспорт расчетных данных. Полученные результаты экспортируем в ANSYS (File/Export). В открывшемся окне устанавливаем параметры экспорта и нажимаем ОК. В итоге будет создан файл формата .lod. В нем записаны возникающие в шарнирах силы и моменты. В ANSYS выбираем Solution/ADAMS Connection/Import for ADAMS. Выбираем созданный файл .lod и нажимаем кнопку Import. После расчета в ANSYS получаем график изменения максимальных напряжений в штанге, при движении опрыскивателя по неровной поверхности со скоростью 25 км/ч рисунок 4.

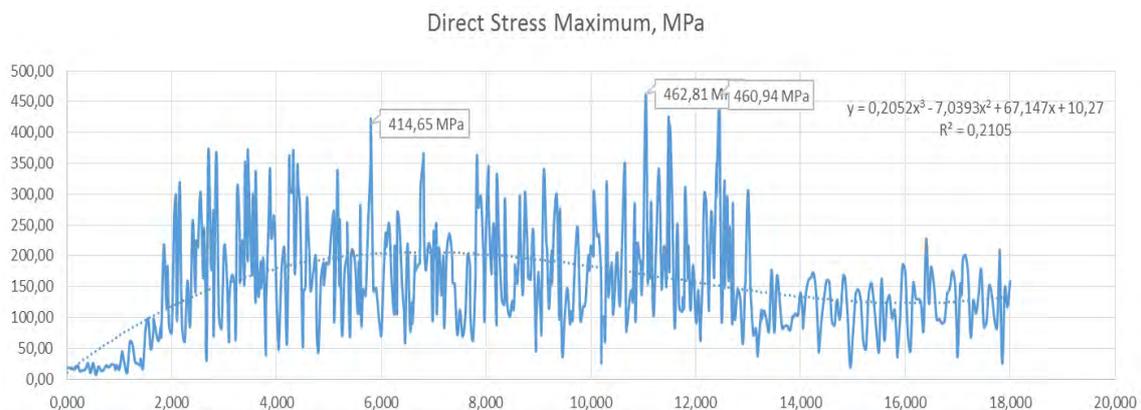


Рис 4. График изменения максимальных напряжений в штанге

Полученные результаты (график на рис. 4) свидетельствуют о том, что максимальные напряжения (462,81 МПа) превышают предел текучести для основных используемых сталей [9], например, марки С440 ( $\sigma_T=440$  МПа) и 390-16Г2АФ ( $\sigma_T=450$  МПа), из которых и изготавливается конструкция штанг самоходного опрыскивателя, и достаточно близки к пределу прочности С440 ( $\sigma_B=590$  МПа), 390-16Г2АФ ( $\sigma_B=600$  МПа).

Исходя из этого можно сделать предварительный вывод о том, что не рекомендуется эксплуатировать данные штанги на дорогах со значительными неровностями и на большой скорости.

Отметим, что данная методика численных виртуальных испытаний хорошо подходит для расчета всех типов навесных сельскохозяйственных агрегатов.

### РЕЗЮМЕ

Рассказано об использовании конечно-элементных моделей в САПР MSC.ADAMS для нахождения напряженно-деформированного состояния (и последующего его анализа) при динамическом нагружении. Подход подробно описан на примере расчета навесных штанг самоходного опрыскивателя.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Using ADAMS / Solver Version 9 Part Number 91 SOLVUG-01
2. Прикладное оптимальное проектирование / Пер. с англ. В. М. Картвелишвили, А. А. Меликяна; Под ред. Н. В. Баничука: Мех. системы и конструкции. - М.: Мир, 1983. - 479 с.
3. Чигарев, А.В. ANSYS для инженеров: Справ. пособие / А.В. Чигарев, А.С. Кравчук, А.Ф. Смалюк. – М.: Машиностроение: Машиностроение-1, 2004. – 511 с.
4. ГОСТ 31323-2006 (ISO 5008:2002). Определение параметров вибрационной характеристики самоходных машин. Тракторы сельскохозяйственные колесные и машины для полевых работ.
5. ANSYS 9.0 Theory reference. ANSYS Inc., 2004.
6. ANSYS 9.0 User guide advanced. ANSYS Inc., 2004.
7. ANSYS в руках инженера: практическое руководство / А.Б.Каплун, Е.М.Морозов, М.А.Олферьева. - Москва: Едиториал УРСС, 2004. - 269 с.
8. The Focus - Issue 19 [Электронный ресурс] [http://www.padtinc.com/blog/wp-content/uploads/oldblog/PADT\\_TheFocus\\_19.pdf](http://www.padtinc.com/blog/wp-content/uploads/oldblog/PADT_TheFocus_19.pdf)
9. Марочник сталей и сплавов / составители: А.С.Зубченко [и др.]; под редакцией А.С. Зубченко. - Москва : Машиностроение: Машиностроение-1, 2003. - 782 с.

### SUMMARY

*This article talks about the possibility to use finite elements models in CAD/CAE MSC.ADAMS for find the stress-strain state under dynamic loading. The technique is shown by the example of the calculation of self-propelled sprayer's hinged rods.*

**E-mail:** [nagasinr@gmail.com](mailto:nagasinr@gmail.com)  
[pavel.shirvel@yandex.ru](mailto:pavel.shirvel@yandex.ru)

Поступила в редакцию 13.10.2015