

БЕЗОПАСНОСТЬ И САПР

При проектировании мобильных грузоподъемных машин (ГПМ) – пожарных автомобилей, мобильных подъемников с рабочей платформой – возникает ряд задач, связанных с обеспечением безопасности изделий.

К безопасности предъявляются специальные требования, сформулированные в нормативных документах, в частности:

- угол поперечной статической устойчивости автомобиля при полной массе не должен быть менее 30°;
- автомобили, оборудованные стрелой или комплектом колен, должны обладать статической и динамической устойчивостью, обеспечивающей возможность безопасного проведения специальных работ;
- должна быть исключена возможность движения стрелы (комплекта колен) вне зоны рабочего поля;
- при определении зоны обслуживания должны учитываться ограничения по прочности и устойчивости;
- разрешенная максимальная осевая масса транспортных средств не должна превышать установленных значений.

Специалисты Инженерного центра инновационной техники ООО «Пожарные Системы» исследуют отдельные аспекты безопасности проектируемых изделий с помощью систем автоматизированного проектирования (САПР). Исходя из требований, учитывается как транспортная безопасность изделия, так и безопасность его эксплуатации по назначению. К вопросам транспортной безопасности следует отнести распределение нагрузки по осям и поперечную статическую устойчивость. Распределенные нагрузки по осям базового шасси, полученные с помощью трехмерного моделирования, не должны превышать установленных значений.

Поперечная статическая устойчивость контролируется путем проецирования центра масс трехмерной модели, наклоненной на предельный угол к горизонтальной плоскости. В результате исследования 3D-модели изделия, используя различные положения рабочих органов мобильной ГПМ в процессе виртуального функционирования, можно оценить грузовую устойчивость и определить границу зоны рабочего поля.

При оценке учитывается то, что длина стрелы, углы подъема и поворота при заданных размерах опорного контура определяют величину вылета по вершине стрелы или внешнего края рабочей платформы относительно ребра опрокидывания. В качестве условия сохранения устойчивости ГПМ можно принять превышение удерживающего момента (M_y) над опрокидывающим (M_o):

$$M_y \geq k * M_o;$$

где k – коэффициент запаса, который по требованиям нормативных документов должен быть не менее 1,15.

Обычно удерживающий момент обеспечивается собственной массой грузоподъемного изделия, а опрокидывающий момент определяется полезной нагрузкой в вершине стрелы. Границы поля рабочей зоны в основном зависят от:

- грузовой устойчивости механической системы;
- рабочей нагрузки в вершине стрелы;
- прочности основных элементов конструкции.

В оценке работоспособности изделия в пределах рабочего поля по прочностным характеристикам хорошие результаты дает метод конечных элементов. Решая задачи, связанные с конструктивной безопасностью и безопасной эксплуатацией мобильных

ГПМ, на этапе создания трехмерной модели изделия специалисты инженерного центра строят свою работу следующим образом.

При оценке распределения нагрузки изделия на оси базового шасси существует допустимая нагрузка, передаваемая на дорожное полотно. Поэтому необходимо на начальном этапе проектирования стремиться рационально компоновать элементы надстройки. Точность оценки нагружения осей зависит от полноты насыщения 3D-сборки подсборками, деталями, а также покупными и стандартными изделиями. Насыщение модели и определяет точность измерения массово-центровочных характеристик (МЦХ) трехмерного объекта. Кроме того, имея 3D-модель надстройки и 3D-модели разных шасси, можно выбрать наиболее подходящее сочетание надстройки и шасси, а с помощью перемещения элементов модели надстройки добиться требуемого распределения нагрузки по осям.

При анализе поперечной статической устойчивости объекта все элементы надстройки должны быть приведены в состояние, соответствующее походному положению ГПМ.

Трехмерную модель изделия располагают с углом наклона в поперечном направлении, равным допустимому. В таком положении определяется центр масс, который обычно смещается относительно продольной оси в сторону наклона объекта. По проекции точки центра масс на горизонтальную плоскость производят оценку поперечной статической устойчивости всего объекта. Если

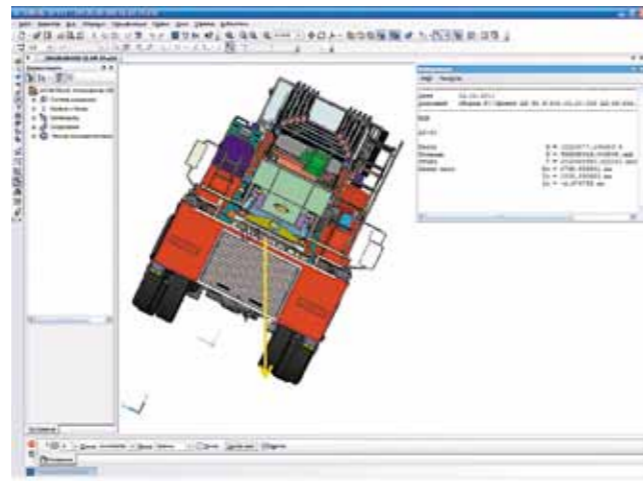


Рис. 1

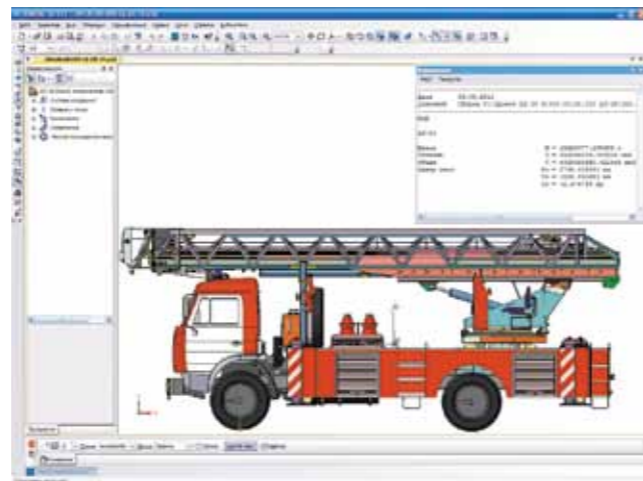


Рис. 2

трехмерная модель базового шасси достаточно проработана, то при оценке поперечной статической устойчивости можно учесть влияние подрессорных масс изделия, устанавливая допустимый угол крена.

При оценке грузовой устойчивости трехмерного виртуального объекта необходимо использовать положения элементов конструкции, подобные положениям реальной ГПМ. Для определения устойчивости нужно вычислить положение центра масс в одном из рабочих положений и отследить границы выставленного опорного контура. Для анализа следует выбирать самые неблагоприятные, с точки зрения устойчивости, рабочие положения элементов ГПМ.

В случае приближения проекции центра масс к ребру опрокидывания (границе опорного контура) получаем снижение коэффициента грузовой устойчивости, а при переходе через ребро имеем риск потери устойчивости. Положение центра масс определяется целым рядом факторов и, прежде всего, длиной выдвигания (раскрытия) грузовой стрелы, высотой ее подъема, полезной нагрузкой в вершине стрелы, положением стрелы относительно продольной оси объекта и т.д. Немаловажную роль при оценке грузовой устойчивости ГПМ играет масса вывешенного шасси.

По результатам исследований можно построить границу зоны рабочего поля. При этом учитывают грузовую устойчивость, полезную нагрузку, прочность конструкции и конструктивные особенности изделия. В точках рабочей зоны могут действовать разные силы, которые влияют на координаты точек границы зоны рабочего поля.

Важную роль в безопасной эксплуатации мобильной ГПМ играет обеспечение плавности движений приводов. Для обеспечения плавности хода механизмов привода с помощью трехмерных моделей производится анализ взаимодействия элементов механизма привода.

Специалисты инженерного центра для решения задач безопасности используют наработанные методики. В качестве примера представлена трехмерная сборка автолестницы пожарной АЛ 34. Глубина трехмерной проработки составляет около 9000 компонентов. Данная АЛ 34 разработана, изготовлена и испытана компанией «Пожарные Системы».

Заметим, что не все требования безопасности, предъявляемые к мобильной ГПМ, можно оценить или решить с помощью построения трехмерной модели. Например, гидравлическая система и электронная система управления выполняют свои функции безопасности.

При определении поперечной статической устойчивости мобильной ГПМ, используя возможность ориентировать трехмерную модель под любым углом к горизонтальной плоскости, можно получить центр масс и его проекцию на горизонтальную плоскость в предельно наклоненном состоянии. На рис. 1 приведен фрагмент, показывающий возможности системы КОМПАС-3D по оценке поперечной статической устойчивости АЛ 34.

На рис. 2 видно расположение центра масс АЛ 34. Зная колесную базу, можно найти графическим способом расстояния от центра масс до колесных осей. Имея координаты названных точек, легко определяем распределение нагрузки по осям, а с помощью «балластов» создаем трехмерную модель шасси с необходимыми параметрами.

При выставленных выдвинутых опорах полученный опорный контур обеспечивает устойчивость грузовой системы. Зная положения проекции центра масс, оцениваем грузовую устойчивость, при этом стрела может находиться в любом положении относительно оси поворота и иметь угол наклона в пределах рабочей зоны. Координаты центра масс модели АЛ 34 определены в системе КОМПАС-3D (рис. 3), для демонстрации выбрано одно из наиболее характерных положений кинематической системы.

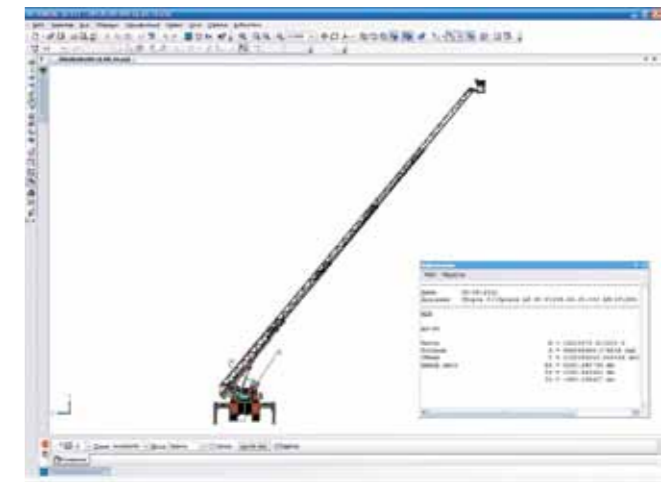


Рис. 3

Специалистами инженерного центра применены приемы работы с трехмерной моделью, с помощью которых при перемещении отдельных элементов происходит перемещение их центра масс, что обеспечивает хорошие результаты при определении МЦХ различных положений модели АЛ 34.

При оценке влияния нагрузки на вершине стрелы или на рабочей платформе используется искусственное тело (балласт). Такой балласт легко разместить в нужной точке и перемещать вместе с конструкцией. Масса балласта может изменяться по усмотрению конструктора. Диаграмма зоны рабочего поля (рис. 4) для наглядности представлена в трехмерном виде.

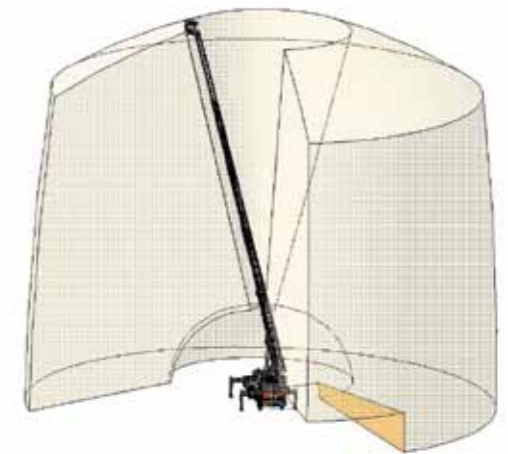


Рис. 4

В заключении следует отметить, что успешно проведенные испытания изготовленного опытного образца пожарной автолестницы АЛ 34 позволяют сделать вывод о том, что результаты анализа с помощью трехмерной модели не противоречат результатам испытаний.

При оценке результатов проектирования, связанных с безопасностью изделия, применение САПР дает хороший результат и экономит время. При приобретении соответствующего опыта отдельные виды испытаний можно смело заменить исследованиями с помощью САПР.

**Александр Шаламов, главный конструктор
Олег Бесов, ведущий инженер,
ООО «Пожарные Системы» (г. Тверь)**