

## МЕТОДИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ САПР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Бурносенко А.А., Жданович Ч.И., Каминьский Э.

*Scientific investigation of mechanism is impossible without mathematical modeling. CAE software is the best tool for simulation of complicated dynamical system's behavior. The idea of designer's universal work place is formulated. Agricultural vehicle suspension with hydropneumatic springs was designed. Suspension designing and all necessary calculations were performed using CAD/CAE software. This enables usage of dynamical model for practical purposes.*

Развитие информационных технологий обуславливает все более активное использование компьютера в научных и инженерных целях. При решении ряда задач компьютерное математическое моделирование вытесняет традиционные методы расчетов поведения динамических систем и даже заменяет собой натурные испытания. Приближенные численные методы расчетов, обладая достаточной точностью, требуют меньших затрат времени и труда. Использование компьютера при расчетах механических систем, поведение которых часто описывается системами дифференциальных уравнений, особенно целесообразно.

Математическая компьютерная модель позволяет сохранить время исследователя, с минимальными изменениями самой модели исследовать поведение механизма при различных массовых, размерных, силовых и других его параметрах, а также получить при расчете данные, непосредственно интересующие исследователя. То, что данные при этом имеют цифровую форму, облегчает их хранение, обработку и использование.

Однако математическому моделированию с использованием компьютера сопутствует ряд трудностей. Прежде всего, это связано с громоздкостью математического аппарата, которым приходится оперировать. Компьютер выполняет вычислительные задачи, но составление уравнений и зависимостей, описание звеньев и кинематических связей механизма и способов их взаимодействия приходится выполнять исследователю. Второй важной проблемой математического компьютерного моделирования является программирование системы, которое требует значительного объема специальных знаний. Составление программы может занять много времени. Неотъемлемой частью написания программы является ее отладка и проверка точности расчетов, на которую влияет множество факторов.

При решении вычислительных задач исследователи, занимаясь совершенно разными проблемами, выполняют большие объемы сходных задач. Работы эти касаются не столько математической стороны проблем, сколько собственно программирования математической модели. При этом если рассчитывается одна механическая система, для определения, например, кинематических и динамических ее характеристик требуется

создать две различных расчетных модели, иначе программирование задачи будет затруднено.

Математическая компьютерная модель всегда является абстракцией, и если моделирование проводится при проектировании какого-либо изделия, то передача данных из расчетной среды в САД-систему может стать «узким местом» всего процесса и выполняться практически вручную. Та же проблема возникает с размерными и массовыми характеристиками элементов системы, которые при трехмерном проектировании, используемом всеми крупными промышленными предприятиями, вычисляются САД-системами автоматически. Вдобавок, в большинстве расчетных моделей динамические системы имеют двухмерное представление, что упрощает математическую сторону задачи, но часто приводит к огрублению расчетов.

Использование специальных программных комплексов, предназначенных для моделирования поведения механизмов и реализующих модульный принцип построения расчетной модели, позволяет избежать большинства проблем традиционного компьютерного математического моделирования. Эти программы, написанные профессиональными программистами и математиками, к которым, например, относится ADAMS (производитель — Mechanical Dynamics), Unigraphics Motion (производитель — EDS), I-DEAS (производитель — SDRC), являются сертифицированными проверенными решениями для расчета механизмов. Такие программы содержат мощные и устойчивые решатели, и при их использовании исследователь избавляется от необходимости программировать вычисление своей задачи. Работа с этими программами не требует глубокой специальной подготовки по программированию и другим специфическим дисциплинам.

Особенностью расчетов математических моделей в таких программных комплексах является создание динамических моделей высокой сложности из набора стандартных простых динамических элементов (например, звено, связь, силовой элемент и тому подобное). Исследователь «набирает» механизм, основываясь на вспомогательной геометрии, созданной, например, в САД-системе, задает связи, входные воздействия и так далее. Программа автоматически составляет зависимости и решает необходимые уравнения. Входное воздействие (сила, движение и др.), в ряде задач задаю-

шея графически, либо массивом точек, можно задавать по вспомогательному геометрическому построению, либо из внешнего файла.

Характерной особенностью математического моделирования механических систем в программах, реализующих модульный принцип создания модели, является то, что корректно созданная расчетная схема может использоваться для расчетов кинематики, статики, динамики и для оптимизационных вычислений. Внешние условия и входные воздействия в системе при этом задаются исследователем наглядно, в тех точках модели, где это происходит при реальной работе механизма.

Системы механического анализа, как правило, обладают мощным инструментарием для обработки результатов расчетов, например, для спектрального анализа колебательных процессов, вычисления усредненных характеристик и так далее. Немаловажным плюсом таких систем является визуализация результатов, при которой исследователь в реальном времени может отследить поведение системы. Все расчетные переменные, необходимые для обработки результатов, доступны в графической форме.

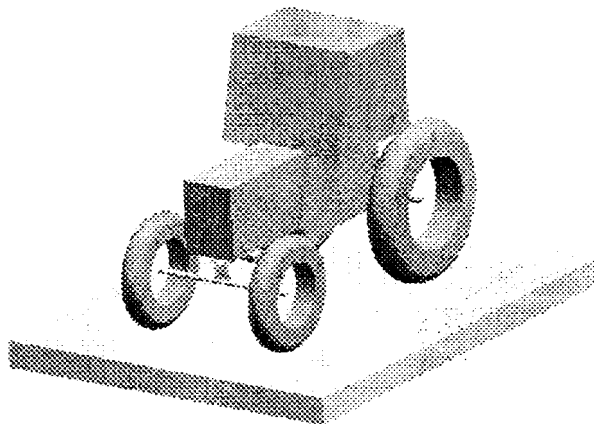
Двусторонний обмен данными с CAD-системами значительно облегчает моделирование, если расчеты, проводимые в системах анализа механизмов, выполняются при проектировании каких-либо изделий. В таком случае трехмерные модели, созданные средствами CAD-систем, используются как базовая геометрия для создания расчетных моделей. Такой подход к созданию модели прост и нагляден, вдобавок, система может автоматически рассчитать инерционные параметры звеньев механизма, а внешние воздействия и связи между звеньями механизмов задаются непосредственно на поверхностях звеньев, дальнейший их пересчет производится автоматически. При параметрическом проектировании, реализованном в CAD-системах среднего и высокого уровня, изменения в геометрии трехмерной модели передается в расчетную схему, что облегчает проектирование и оптимизацию. Математические модели, созданные средствами специализированных программных комплексов, имеют трехмерное представление, что повышает точность расчетов и приближает расчетную модель к реально функционирующему механизму.

Математическое моделирование динамических систем может значительно ускорить проектирование, так как на концептуальной его стадии, когда основой для расчета является «проволочное» представление модели, определяется оптимальная структура будущего механизма. Геометрия, использованная для расчета, является основой для создания детальных трехмерных моделей, на базе которых затем производятся окончательные, уточненные расчеты. Результаты расчетов механизма при этом могут использоваться в струк-

турно-прочностных расчетах методом конечных элементов.

К основным проблемам математического моделирования поведения механизмов с использованием специализированных программных комплексов следует отнести отсутствие методик их использования и их относительную дороговизну. Эти вопросы могут быть решены при создании универсального конструкторского рабочего места, на котором проектирование и все сопутствующие ему расчеты производятся одним исследователем.

К исследовательской работе, выполненной на универсальном рабочем месте, можно отнести проектирование гидropневматической подвески переднего моста колесного трактора. Проектирование подвески выполнялось в программах Unigraphics Modeling, Solid Edge Part, Solid Edge Assembly, расчеты кинематики и динамики подвески в программе Unigraphics Motion, структурно-прочностные расчеты производились в модуле Unigraphics Structures.



*Рис. 1. Упрощенная трехмерная модель трактора с подвеской переднего моста*

Последовательность создания математической модели системы поддрессоривания имела следующий вид:

- собирались данные о массовых параметрах трактора и условиях его работы, например, результаты тягового расчета;
- производился анализ требований к модели, по результатам которого исследователь определял, точность, с которой расчетная модель будет соответствовать реальной конструкции;
- создавалась трехмерная модель машины с системой поддрессоривания (рис. 1), использовались как твердотельные объекты (при детальном анализе и проектировании подвески), так и «проволочные» или листовые тела (при определении схемы или кинематических параметров звеньев подвески), в последнем случае массовые параметры задавались вручную;
- определялся способ, которым модели сообщалось входное воздействие;

- на основе созданной трехмерной модели определялись звенья механизма подвески;
- определялись кинематические связи между звеньями механизма и силовые элементы типа «пружина», «демпфер», «сферический контакт», «сила» и т.д. (рис. 2,3);

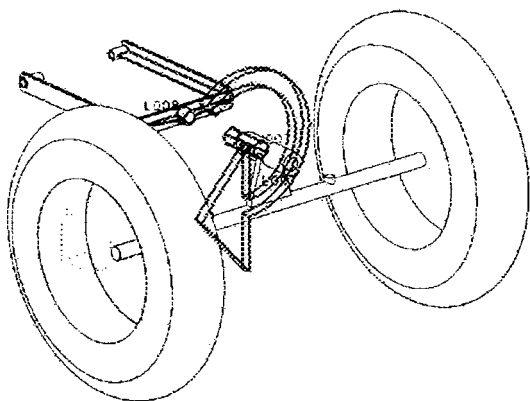


Рис. 2. Кинематическая связь между передним мостом и продольным рычагом подвески

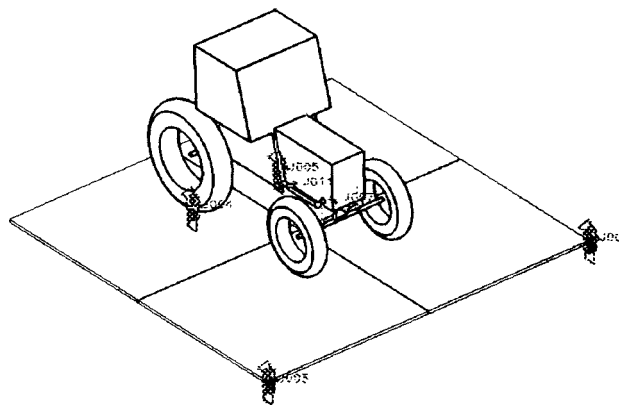


Рис. 3. Динамическая модель системы поддресоривания

- производилась «обкатка» модели — проверка качества ее работы при имитации различных режимов работы машины;
- производился расчет исследуемой подвески, для чего ее поведение исследовалось на всем диапазоне значений изменяемых конструктивных параметров и входных воздействий
- результаты расчетов анализировались;
- исследователь сформулировал требования к значениям конструктивных параметров механизма подвески.

В качестве опорных поверхностей колес трактора использовались плоскости, «прикрепленные» с помощью кинематических связей типа «рейка» к «земле» пространства модели.

Задающим движением при расчетах модели служило синусоидальное (в функции от времени) перемещение, сообщенное «рейкам». Частота задающего воздействия определялась через скорость движения трактора, на которой испытывалась модель. Фазовый сдвиг между колебаниями

опорных поверхностей соответствовал тому, который возникает при наезде на неровность последовательно передними и задними колесами на заданной скорости.

Также модель испытывалась на ступенчатое входное воздействие (однократный наезд трактора на неровность высотой 0,15 м). Такой расчет позволил подробнее оценить динамические свойства системы поддресоривания. Результаты расчетов представлялись в графической форме (рис. 4).

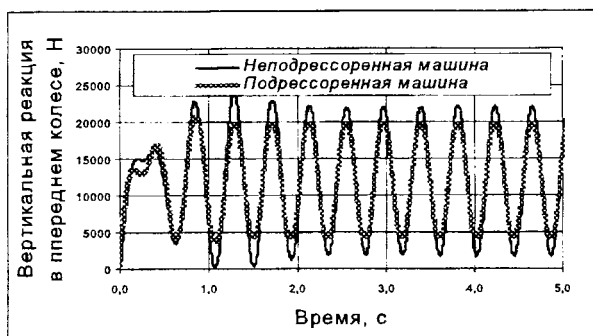


Рис. 4. Вертикальные реакции в передних колесах при движении по грунтовой дороге для поддресоренного и неподдресоренного трактора

Детальное проектирование (рис. 5) подвески и структурно-прочностные расчеты производились по результатам расчетов механизма поддресоривания.

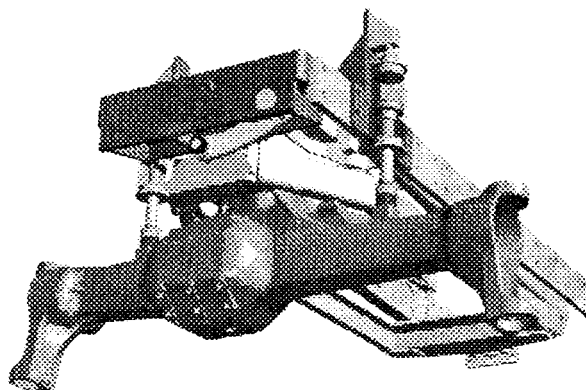


Рис. 5. Общий вид системы поддресоривания переднего моста

Все работы по исследованию свойств механизма поддресоривания и его влияния на плавность и устойчивость хода колесного трактора были выполнены на одном рабочем месте, расчетные данные и геометрия передавались непосредственно из приложения в приложение. Использование специализированного программного обеспечения для исследования механизма подвески позволило создать трехмерную расчетную модель и с высокой точностью предсказать поведение машины при движении по различным типам почв.