ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ. ОПИСАНИЕ МОДУЛЕЙ АНАЛИЗА И ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМЫ

* 1. ***. С0SM0S/М***

COSMOS/М это построенная по модульному принципу автономная сис­тема анализа МКЭ, разрабатываемая корпорацией Structural Research для пер­сональных ЭВМ и рабочих станций. Она включает модули для решения линей­ных и нелинейных, статических и динамических задач анализа механических конструкций, а также полевых задач теплопроводности, механики жидко­сти и электромагнетизма. Имеются также модули для решения ряда специ­альных задач, таких как усталостная прочность при циклических нагрузках и анализ гидравлических сетей. Система непрерывно развивается и совершенст­вуется с использованием самых передовых методов, соответствующих стреми­тельному прогрессу технических средств. Программа COSMOS/M имеет модульную структуру, однако пользователь взаимодействует с ней только через интерфейс программы GEOSTAR. Все внутренние обращения и передачи управления автоматизированы таким образом, чтобы обеспечить пользователю работу в режиме однотипного экрана. Пользователь строит модель, определяет все данные, необходимые для программы анализа, выполняет собственно ана­лиз и оценивает результаты - и все это, не выходя из среды GEOSTAR.

Каждой задаче должно быть дано имя, которое является общим для всех файлов, относящихся к этой задаче. Имя каждого из этих файлов имеет свое расширение, которое определяет тип содержащейся в файле инфор­мации. В настоящем пособии все файлы, относящиеся к одной задаче, называ­ются базой данных задачи. Многие файлы базы данных являются общими для всех типов анализа; некоторые содержат информацию, относящуюся только к одному типу анализа. Одна и та же база данных может быть использована для выполнения различных типов анализа. COSMOS/M создает как двоичные фай­лы, так и файлы в формате ASCII. Двоичные файлы используются самой про­граммой для сохранения и восстановления информации. Файлы ASCII, с другой стороны, используются для хранения информации, которая непосредственно используется пользователем.

***1.2.Краткий обзор модулей COSMOS/M***

Система COSMOS/M включает пре- и постпроцессоры, различные мо­дули анализа, интерфейсы с CAD-системами, трансляторы и утилиты.

*GEOSTAR: пре- и постпроцессор*

Модуль GEOSTAR представляет собой работающий в графическом режиме трехмерный интерактивный геометрический моделировщик, позволяю­щий генерировать сетки конечных элементов, а также выполняющий функции пре- и постпроцессора при анализе МКЭ. Геометрические возможности GEOSTAR базируются на методе смешанных граничных представлений (В-гер) и параметрических кубических уравнениях.

Основное назначение GEOSTAR - выполнение функций пре- и пост­процессора для системы анализа МКЭ COSMOS/M. Пользователь может созда­вать модель, вводить всю необходимую для анализа информацию, выполнять собственно анализ, используя расчетные модули COSMOS/М и, наконец, визуально оценивать результаты. Все это доступно непосредственно в среде GEOSTAR в графическом интерактивном режиме под управлением падающего меню.

Разнообразные возможности геометрического моделирования в соче­тании с гибкими средствами генерации конечно-элементных сеток, позволяют легко создавать сложные расчетные модели. Нагрузки, граничные и начальные условия могут быть приложены к соответствующему геометрическому элементу модели в любой заранее определенной системе координат.

Программу GEOSTAR выгодно отличает сочетание мощных воз­можностей, интуитивно понятной структуры и легкости в освоении.

Модели, созданные в других системах геометрического моделиро­вания (CAD), могут быть введены в GEOSTAR с помощью форматов DXF и IGES. Пользователю в процессе работы в CAD-системе необходимо получить файл в одном из этих форматов, а потом воспользоваться одной из команд GEOSTAR для ввода модели. Также легко можно получить описание модели, построенной в GEOSTAR, в выходном файле в формате DXF или IGES для последующего использования в одной из CAD-систем.

*STAR: модуль линейного статического анализа*

Модуль STAR использует для вычисления деформаций конст­рукций линейную теорию, использующую предположение малости перемеще­ний. Для расчета напряжений STAR вызывает дополнительный модуль STRESS. Ниже приведены основные особенности модулей STAR и STRESS:

* Расширенная библиотека элементов.
* Изотропные, ортотропные, анизотропные и композитные свойства материа­лов.
* Критерий разрушения для композитных материалов.
* Предписанные начальные смещения узлов с учетом или без учетадругих нагрузок.
* Связанные степени свободы.
* Задание уравнений связи.
* Тепловые, весовые и центробежные нагрузки. „
* Балочные нагрузки.
* Плоскостные эффекты при оценке жесткости.
* Расчет для составного нагружения за один прогон модуля.
* Введение в матрицу жесткости дополнительной небольшой упругости для предотвращения ее возможного вырождения.
* Техника суперэлементов.
* Взаимодействие жидкости с твердым телом.
* Элемент "Зазор с трением".
* Постпроцессорные возможности:

вывод листинга смещений и напряжений; автоматический выбор экстремальных значений смещений и компонент на­пряжений; визуализация деформированного состояния; анимация деформи­рованного состояния; многоцветное представление полей деформации и на­пряжения; представленные полей деформации и напряжения в изолиниях; векторное представление полей деформации и напряжения; вывод в листинг и визуализация сдвиговых и моментных компонент балочных элементов; управляемое пользователем масштабирование; комбинирование смещений и компонент напряжения различных вариантов нагружений.

*STRESS: дополнительный модуль вычисления напряжений* *для* *задач линейной статики.*

Модуль STRESS вычисляет напряжения в элементах и узлах для большинства элементов библиотеки, используя результаты, полученные STAR. Напряжения, вызываемые составными нагрузками, вычисляются за один проход модуля, а комбинирование нагружений возможно на постпроцессорной стадии. Напряжения могут быть получены в любой предварительно определен­ной системе координат. Модуль STRESS поддерживает все возможности STAR

*DSTAR:* *модуль вычисления собственных частот и анализа устойчивости*

Модуль DSTAR оценивает собственные частоты и соответствую­щие им формы свободных колебаний конструкции. Он также позволяет найти критические нагрузки и связанные с ними формы потери устойчивости. Да­лее отмечены наиболее важные особенности модуля DSTAR.

* Наличие нескольких методов отыскания собственных значений итераций в подпространстве (вплоть до 150 значений), Ланцоша (вплоть до 150 значе­ний), Якоби (все собственные значения), обратный степенной (одно собст­венное значение).
* Вычисление комплексных собственных значений.
* Вычисление собственных значений в заданной частотной области путем задания частотного сдвига.
* Использование последовательности Штурма для выделения кратных собст­венных значений.
* Матрицы сосредоточенных и распределенных масс.
* Учет влияния плоской нагрузки на жесткость. Возможность добавить малую упругость.
* Постпроцессорные возможности:

вывод листинга собственных частот и форм; вывод листинга экстремальных значений форм; визуализация форм; анимации форм; управляемое пользователем масштабирование.

*HSTAR: модуль решения задач теплопроводности*

Модуль HSTAR решает задачи теплопроводности, включающие теп­лообмен за счет проводимости, конвекции и излучения. Далее отмечены наи­более важные особенности модуля HSTAR.

* Линейная и нелинейная, стационарная и нестационарная теплопроводность.
* Температурно-зависимые свойства материалов.
* Источники и стоки тепла, зависящие от времени и температуры.
* Граничные условия, зависящие от времени и температуры: тепловые потоки; конвекция; излучение.
* Предписанные температуры, задаваемые как функции времени. (Несколько итерационных вычислительных алгоритмов): метод Ньютона - Рафсона; мо­дифицированный метод Ньютона - Рафсона.
* Вычисление коэффициентов направленности излучения.
* Постпроцессорные возможности:

вывод в листинг и визуализация темпера­тур, температурных градиентов и тепловых потоков; вывод экстремальных зна­чений; представление многоцветной областью, в изолиниях и в векторном виде.

*ASTAR: Модуль динамического анализа*

Модуль ASTAR использует результаты, вычисленные модулем DSTAR, и метод разложения по собственным формам для вычисления динамической реакции конструкции. Далее отмечены некоторые важные особен­ности модуля ASTAR.

* Расширенная библиотека элементов.
* Возможности анализа:

возбуждение во временной области; возбуждение через основание (включая сейсмические нагрузки); возбуждение в частотной области; ударный спектр; генерация спектра ответа; случайная вибрация; стационарный гармонический анализ; спектральная плотность мощности (случайный отклик).

* Модели демпфирования: скалярная; амортизационная; с дискретной вязко­стью; с модальной вязкостью; конструкционная.
* Начальные условия.
* Функции времени для масштабирования нагрузок.
* Анализ напряженных состояний.
* Двух узловые элементы "зазор с трением", работающие на сжатие или рас­тяжение.
* Постпроцессорные возможности:

вывод в листинг и визуализация реакций (смещения, скорости, ускорения и напряжения); построение графиков функ­ций времени или частоты для реакций отдельных узлов и элементов; вывод в листинг экстремальных значений, визуализация в многоцветных и вектор­ных полях, а также изолиниях, масштабирование под управлением пользо­вателя.

*NSTAR: модуль нелинейного анализа конструкции*

Модуль NSTAR решает задачи нелинейного статического и динами­ческого анализа конструкций. Далее отмечены некоторые важные особенно­сти модуля NSTAR.

* Расширенная библиотека элементов.
* Геометрическая нелинейность:

большие перемещения (общая и модифици­рованная формулировка Лагранжиана); большие деформации (резиноподобные материалы); управляемые зазоры, линии и поверхности контакта.

* Физическая нелинейность:

нелинейная упругость (билинейная и произволь­ная кривая - напряжение-деформация); гиперэластичность; пластичность; ползучесть; термопластичность; несжимаемость.

* Вычислительные методы:

методы управления включают: управление нагруз­кой; управление перемещением (определяет движение узла как функцию времени в заданном направлении).

* Итерационные методы включают:

обычный метод Ньютона - Рафсона (метод касательных); модифицированный метод Ньютона - Рафсона (метод каса­тельных); BFSG-метод (Бройдена-Флетчера-Голдфарба-Шанно) (метод се­кущих), поиск линии для улучшения сходимости; управление числом итера­ций и погрешностью.

* Нагрузки:

сосредоточенные силы; давление; температуры; центробежные; весовые; консервативные и неконсервативные; временные функции для масштабирования нагрузок.

* Дополнительные возможности:

нелинейная устойчивость (анализ предель­ной нагрузки); повторный запуск для продолжения вычислений с заданного шага (нагрузки, метод решения и шаг интегрирования могут быть изменены перед каждым повторным запуском); связанные степени свободы.

* Постпроцессорные возможности:

вывод в листинг перемещений, деформа­ций и напряжений; вывод в листинг экстремальных значений перемещений, деформаций и компонент напряжений; визуализация деформированных форм в заданных точках процесса; анимация деформированных форм; ви­зуализация в многоцветных и векторных полях, а также изолиниях; масшта­бирование под управлением пользователя, построение графиков функций времени для реакций отдельных узлов и элементов.

*CSTAR: модуль анализа динамики разрушений*

Модуль CSTAR выполняет анализ динамики разрушений в реальном времени, используя точные схемы. Далее отмечены некоторые особенности модуля CSTAR.

* Элементы: трехмерный стержень (ферма) (TRUSS3D); трехмерная балка (ВЕАМЗD); толстая и тонкая трехузловая оболочка (SНЕLL3 и SНЕLL3Е); четырехузловая оболочка (SHELL4); объемный упругий элемент (SOLID).
* Двух- и трехмерный нестационарный анализ.
* Физическая и геометрическая нелинейность.
* Автоматическое вычисление шага интегрирования по времени исходя из величины критического шага для предупреждения неустойчивости, возмож­ной вследствие слишком большого шага.
* Простой и эффективный оболочечный элемент (SНЕLL4), требующий мало памяти.
* Граничные условия: смещения; скорости; ускорения.
* Нагрузки: сосредоточенные силы; давление; предписанные смещения; временные кривые для масштабирования нагрузок в различных местах.
* Постпроцессорные возможности:

вывод в листинг перемещений, деформа­ций и напряжений; вывод в листинг экстремальных значений перемещений, деформаций и компонент напряжений; визуализация деформированных форм в заданных точках процесса; анимация деформированных форм; ви­зуализация в многоцветных и векторных полях, а также изолиниях; масшта­бирование под управлением пользователя; построение графиков функций времени для реакций отдельных узлов и элементов.

*FSTAR: модуль анализа усталостной прочности*

Модуль FSTAR использует результаты расчета напряжений, полученные другими модулями, для выполнения анализа усталостной прочности. Модуль позволяет оценить усталостную долговечность (коэффициент запаса при уста­лостной эксплуатации) механической конструкции при циклическом нагружении. Далее отмечены некоторые важнейшие особенности модуля FSTAR.

* Расширенная библиотека элементов.
* Процедуры анализа:

правило Минера; АSМЕ-нормы для котлов и сосудов давления; упрощенная упругопластическая формулировка, использующая спецификацию АSМЕ.

* Вычисление коэффициента эксплуатационного запаса в заданных положе­ниях.
* Автоматическое вычисление коэффициента эксплуатационного запаса во всех узлах.
* Упрощенный ввод.

Напряжения берутся из результатов линейного, нелинейного и дина­мического анализа, а также могут быть непосредственно введены пользователем. Профили напряжений, основывающихся на результа­тах, полученных из других модулей, могут быть модифицированы пользователем перед выполнением анализа усталостной прочности.

* Параметры явления усталости и соответствующее число циклов.
* Постпроцессорные возможности:

вывод в листинг коэффициентов эксплуа­тационного запаса; визуализация распределения коэффициентов запаса при усталостной эксплуатации в виде многоцветных и векторных полей, а также в виде изолиний; масштабирование под управлением пользователя.

*FLOWSTAR: модуль анализа потоков жидкости*

Модуль FLOWSTAR позволяет решать двух- и трехмерные стацио­нарные и нестационарные задачи течения жидкости, в которых также могут быть учтены и тепловые эффекты. Модуль использует метод штрафных функций для решения уравнений Навье-Стокса и уравнения энергии для профилей скорости, давления и температуры. Анализируются как внешние потоки вокруг тел произ­вольной формы, так и внутренние течения в клапанах и теплообменниках. Далее отмечены некоторые важнейшие особенности модуля FLOWSTAR.

* Ламинарное течение вязкой несжимаемой жидкости с учетом теплопереноса.
* Двух- и трехмерные ламинарные течения.
* Температурно-зависимые свойства жидкости.
* Стационарные и нестационарные потоки.
* Ньютоновские и неньютоновские жидкости.
* Изотермические и неизотермические потоки.
* Естественная и вынужденная конвекция.
* Наличие источников тепла.
* Граничные условия задаются для следующих величин: скорость; кинетиче­ская энергия; коэффициент диссипации энергии; узловое расстояние от же­сткой стенки; плотность; энергия; нулевая нормальная скорость для гранич­ных элементов; температура; давление; тепловые потоки: конвекция.
* Постпроцессорные возможности:

вывод в листинг и визуализация скоро­стей, давлений, температур, сдвиговых напряжений, функции тока, темпе­ратурных градиентов, турбулентной кинетической энергии и коэффициен­тов диссипации энергии; вывод в листинг экстремальных значений всех вышеперечисленных величин; визуализация в виде многоцветных и век­торных полей, а также в виде изолиний; масштабирование под управлени­ем пользователя.

*ESTAR: модуль электромагнитного анализа*

Модуль ESTAR позволяет решать задачи электромагнетизма. Далее отмечены некоторые важнейшие особенности модуля ESTAR.

* Типы анализа:

двумерный, осесимметричный и общий трехмерный магнито-статический анализ с источниками тока и постоянными магнитами; двух- и трехмерный электростатический анализ; двумерный и осесимметричный не­стационарный электромагнитный анализ; нелинейный анализ, определяе­мый кривыми намагничивания (В-Н) и/или кривыми размагничивания магни­тов; анализ течения тока в проводниках для вычисления распределениятока и потерь.

* Итерационные методы решения нелинейных задач: обычный метод Ньютона-Рафсона; модифицированный метод Ныотона-Рафсона.
* Граничные условия:

узловые токи; плотность тока на элементе; напряжение и магнитный потенциал; магнитная связь; периодические граничные усло­вия.

* Постпроцессорные возможности:

вывод в листинг и визуализация плотности магнитных потоков, интенсивности магнитного поля, магнитных потенциа­лов, напряжений, плотности электрического поля и плотности электрическо­го тока; вывод в листинг экстремальных значений всех вышеперечисленных величин; визуализация в виде многоцветных и векторных полей, а также в виде изолиний; масштабирование под управлением пользователя, сохране­ние электрической энергии для электростатического анализа; магнитная энергия для магнитостатического анализа; крутящий момент для магнитостатического анализа с использованием принципа виртуальной работы.

* Другие свойства:

электротермическая связь для анализа течения тока и за­дач магнитодинамики; анализ краевых токов; магнитомеханическая связь, когда результирующие магнитные силы могут быть включены в задачи ме­ханического анализа.

*MODSTAR, PLOTSTAR и GRAPHSTAR*

MODSTAR это ранний вариант препроцессора, работающий в текстовом режиме и использующийся для генерации модели и запуска на выполнение различных расчетных модулей. Для реализации графических возможностей при этом используются модули PLOTSTAR и GRAPHSTAR. Эти модули могут быть выполнены непосредственно из среды GEOSTAR.

*OPTSTAR: модуль оптимизации конструкции*

Модуль OPTSTAR это конечно-элементная программа численной опти­мизации конструкций. Задача оптимизации базируется на использованиивесаконструкции или ее механических характеристик в качестве целевой функции, площади поперечного сечения или толщины как конструкторских переменных и, наконец,веса конструкции или ее механических характеристик как ограниче­ний. Численная программа оптимизации с возможностями анализа чувстви­тельности выполняется в соответствии со следующими положениями.

* Возможные целевые функции:

вес модели; перемещения узлов в заданных направлениях; компоненты напряжений на элементе; относительные пере­мещения между двумя узлами.

* Конструкторские переменные:

площадь поперечного сечения стержня (фермы); ширина и высота балки; толщина плосконапряженной пластины; толщина оболочечного элемента.

* Конструкторские ограничения:

компоненты перемещения в узле; относитель­ные перемещения между двумя узлами; компоненты напряжений на элемен­те; верхний предел для веса модели; пределы на конструкторские переменные.

* Другие возможности:

нагрузки в виде сосредоточенных сил и давлений; случай многовариантности нагружений; встроенный анализ чувствительно­сти; связывание конструкторских переменных; точная аппроксимация огра­ничений.

*COSMOS/M интерфейсы*

В состав системы включены следующие интерфейсные программы:

COSMOS/M DESIGNER. Автономная интерфейсная программа для системы AutoCAD. Она позволяет вызывать на выполнение вычислительные модули программы COSMOS/M прямо из среды AutoCAD через дополнительное меню. (AutoCAD продукция Autodesk, Inc.)

COSMOS/M ENGINEER. Автономная интерфейсная программа для системы Рго/ENGINEER на рабочих станциях. Модули анализа COSMOS/M могут быть вызваны на выполнение прямо из среды COSMOS/M ENGINEER. (РRО/ ENGINEER продукция Paremetric Technology Corporation)

*COSMOS/M трансляторы*

В систему COSMOS/M входят следующие программы-трансляторы форматов файлов:

IGES

IGES - транслятор используется для чтения или записи файлов в формате IGES. Этот транслятор может быть вызван на выполнение либо на уровне операцион­ной системы, либо из среды GEOSTAR.

DXF

DXF - транслятор используется для чтения - или записи файлов в формате DXF. Этот транслятор может быть вызван на выполнение либо на уровне операцион­ной системы, либо из среды GEOSTAR.

ANSYS

Двунаправленный интерфейс для передачи данных между системами ANSYS и COSMOS/M.

NASTRAN

Двунаправленный интерфейс для передачи данных между системами NASTRAN и COSMOS/M.

PATRAN

Двунаправленный интерфейс для передачи данных между системами PATRAN и COSMOS/M.

SINDA

Двунаправленный интерфейс для передачи данных между программой анализа теплопроводности SINDA'87 и SINDA'85 и системой COSMOS/M.

NODSTAR/GEOSTAR

Входной командный файл для NODSTAR может быть сгенерирован в среде GEOSTAR с помощью команды MODINPUT. Входной командный файл для GEOSTAR может быть сгенерирован в среде MODSTAR с помощью команды MOD2GEO.

*Выполнимые* *файлы,* *требующиеся для анализа*

В дополнение к GEOSTAR (386GEO.ЕХЕ) и нескольким файлам-утилитам для выполнения анализа различного типа используются следующие выполняемые файлы (все с расширением ЕХЕ). Файл 386RENUM.ЕХЕ исполь­зуется для внутренней перенумерации узлов (скрытой от пользователя) для ускорения процесса решения путем минимизации ширины ленты и профиля матрицы жесткости.

|  |  |
| --- | --- |
| Линейная статика | 386RENUM, 386PRE1, 386STAR, 386STRES |
| Собственные  частоты и  устойчивость­ | 386RENUM, 386PRE1, 386STAR, 386STRES,  386DSTAR |
| Теплопроводность | 386RENUM, 386HSTAR |
| Нелинейный анализ | 386RENUM, 386PRE1, 386NSTAR |
| Динамический  анализ­ | 386RENUM, 386PRE1, 386STAR, 386DSTAR, 386ASTAR |
| Динамика  разруше­ний | 386RENUM, 386CSTAR |
| Усталость | 386RENUM, 386PRE1, 386STAR, 386STRES или  386NSTAR |
| Механика жидкости | 386RENUM, 386FLOW |
| Электромагнетизм | 386RENUM, 386ESTAR |

***1.3. Геометрическое моделирование в GEOSTAR***

*1.3.1. Геометрические объекты*

Набор геометрических объектов в GEOSTAR обеспечивает поль­зователя удобными и мощными средствами для генерации сеток конечных эле­ментов, а также задания нагрузок, граничных и начальных условий. Вы можете определять нагрузки и граничные условия непосредственно на геометрических объектах, а GEOSTAR автоматически свяжет заданные условия с соответст­вующими узлами или элементами. Модули анализа игнорируют геометри­ческую информацию и используют только данные об узлах и элементах. Нагрузки и граничные условия не воспринимаются, если прикладываются к гео­метрическим объектам, не связанным с сеткой конечных элементов. Краткое описание геометрических объектов и доступных при линейном анализе элемен­тов GEOSTAR дано ниже.

Точки

Точки представляют собой наиболее простые объекты GEOSTAR и, следовательно, занимают низшую ступень в иерархии. Они являются состав­ной частью всех остальных ступеней иерархии. Точки могут быть созданы или путем сколки на активной координатной сетке на плоскости, или заданием их координат в пространстве. Кроме того, точки могут быть получены или перезаданы с помощью операций типа симметричного отражения, переброса (flipping), копирования и многих других.

Линии

Линии представляют собой одномерные параметрические объек­ты, образованные из точек в пространстве. В GEOSTAR может быть автомати­чески сгенерировано множество типов линий, включая прямые линии, кониче­ские кривые, сплайны и кривые Безье. Кроме того, линии могут быть получены или перезаданы с помощью операций типа симметричного отражения, перебро­са (flipping), выдавливания (extruding), копирования и многих других. Ори­ентация линии определяется порядком соединения точек и отображается стрел­кой. Символ стрелки по умолчанию не выводится, но может быть получен с помощью команды АСТМАRК. При необходимости ориентация линии может быть изменена с помощью команды СRRЕРАR, находящейся в меню GЕОМЕ-ТRY\СURVES\СRМАNIР.

Поверхности

Поверхности представляют собой двумерные параметрические объек­ты, которые могут быть как плоскими, так и искривленными. В распоряжении пользователя имеется исчерпывающий набор команд для генерации и манипу­лирования с поверхностями, в частности, операции симметрии, переброса (flipping), выдавливания (extruding), скольжения (gliding), волочения (dragging), масштабирования и много других. При генерации поверхностей по линиям выполняется автоматическое согласование ориентации этих линий, так что пользователь может генерировать поверхности, не заботясь об этом. Па­раметрические координаты поверхности идентифицируются символом «звездочка» (\*), который появляется на первой параметрической оси у ее начала. Вторая параметрическая ось начинается в угле, ближайшем к звездочке. Для генерации плоских и криволинейных поверхностей имеется обширный набор команд.

Формальное представление поверхности в пространстве требует, чтобы каждая пара граничных линий, расположенных на противоположных сторонах поверхности, имела одну и ту же ориентацию. Это условие выполняется программой автоматически, предоставляя пользователю свободу задавать граничные линии произвольным образом. Перед построением поверхности GEOSTAR выполняет необходимую репараметризацию линий до тех пор, пока остается возможность получить самопересекающуюся поверхность.

Получить изображение маркера «звездочка» для идентификации па­раметрических осей на поверхности возможно с, помощью команды

АСТМАRК. Команда SFREORNT может быть использована для изменения направления первой параметрической оси на обратное, а команда SFREPAR - для замены первой параметрической оси поверхности.

Объемы

Объемы представляют собой трехмерные параметрические объекты. В распоряжении пользователя имеется исчерпывающий набор ко­манд для генерации и манипулирования с объемами, в частности, операции симметрии, переброса (flipping), выдавливания (extruding), скольжения (gliding), волочения (dragging), масштабирования и много других. При гене­рации объемов некоторые команды выполняют автоматическое согласование ориентации, так что пользователь может генерировать геометрические объек­ты, не заботясь о необходимости менять их ориентацию.

Параметрические координатные оси объема идентифицируются с по­мощью маркеров «звездочка» и «стрелка». Звездочка появляется на первой па­раметрической оси вблизи, ее начала. Вторая параметрическая ось начина­ется из угла, ближайшего к звездочке, а третья идентифицируется с помощью стрелки.

Для правильного представления объема рекомендуется обеспечить следующее:

1. Нормали к любым двум противоположным поверхностям, оп­ределяющим объем, должны иметь одинаковое направление, то есть эти по­верхности должны быть одинаково ориентированы.

2. Следует соблюдать соответствие между локальными парамет­рическими координатами для любых двух противоположных поверхностей, определяющих объем. Это соответствие отображается символами «звездочка», идентифицирующими первую направляющую линию. На любой из противоположных поверхностей эти символы должны иметь одно и то же относительное расположение.

3. И снова в GEOSTAR пользователю нет нужды входить в рас­смотрение вышеупомянутых подробностей для большинства случаев, вклю­чая создание объемов регулярной формы, так как вместо этого может быть ис­пользован флаг автоматического согласования. Такие команды как VL2SF, VL4SF, VLCRSF, VL4CR имеют подобный флаг в числе параметров, поэтому необходимые изменения при формировании объема могут быть выполнены автоматически.

контуры

Контуры (contours) представляют собой замкнутые последова­тельности линий, лежащих на одной плоскости и использующиеся для определения регионов (областей). В GEOSTAR могут быть определены как однородные, так и неоднородные контуры. Однородные контуры имеют од­нородное распределение элементов, определяемое либо средним размером элемента, либо числом элементов на контуре. При создании неоднородных контуров задаются либо средний размер элемента, либо число элементов на каждой линии, входящей в контур. Эта информация используется при форми­ровании сетки конечных элементов на регионе.

Регионы

Регион (region) определяется одним внешним контуром и макси­мум девятнадцатью внутренними контурами. Все контуры региона должны лежать в одной и той же плоскости. Формирование сетки конечных элемен­тов на регионе осуществляется в соответствии с параметрами, заданными в образующих его контурах.

Многогранник

Многогранником (polyhedron) в GEOSTAR называется непре­рывная замкнутая многосторонняя граница, определяемая группой поверх­ностей и/или регионов. Многогранник может быть создан только в случае, если GEOSTAR сможет найти единую замкнутую границу, присоединяющую данный регион или поверхность в пределах некоторого заданного допуска. Таким образом, многогранник является комбинацией подобных поверхностей и ре­гионов и может быть покрыт сеткой конечных элементов оболочечного типа с помощью команды МА\_РН. Эта команда использует все доступные поверх­ности и регионы для создания многогранника. Если многогранник формируется на основе только некоторого подмножества связанных поверхностей или регио­ном, заданных для модели, пользователь должен, прежде всего, выделить не­обходимые объекты в так называемый список выбора, используя команды из подменю CONTROL-SELECT. Область пространства, заключенная в много­граннике или между группой многогранников, может быть впоследствии опреде­лена как особый объемный объект, называемый ЧАСТЬ.

Часть

Частью (part) в GEOSTAR называется область пространства, заключенная внутри одного многогранника, либо между группой многогранни­ков. В определении части может быть использовано до 50 многогранников. Часть может автоматически покрываться сеткой конечных элементов с помо­щью команды MA\_PART.

*1.3.2.* *Системы координат*

Разные системы координат используются при создании гео­метрических объектов, а также для задания нагрузок и граничных условий. При построении точек и узлов, определении нагрузок и граничных условий могут быть использованы прямоугольная, цилиндрическая и сферическая системы координат. При построении других геометрических объектов могут использоваться только прямоугольные системы координат. Системы ко­ординат с номерами 0, 1 и 2 автоматически определяются в GEOSTAR соответственно как общая (глобальная) прямоугольная, общая цилиндриче­ская и общая сферическая. Все остальные системы координат являются мест­ными (локальными). Координаты точек и узлов, а также узловые перемеще­ния, полученные при вычислениях, могут быть выведены в листинг в любой из определенных систем координат.

Нагрузки и граничные условия интерпретируются относительно теку­щей активной системы координат.

Местная система координат элемента (ECS) используется при вы­числении напряжений. По умолчанию ECS, определяемая типом элемента и порядком следования узлов, считается местной системой координат и имеет ссылочный номер - 1. Другие величины относятся к использованию системы координат. Значение ECS выводится в листинг с помощью команды ELIST.

***1.4. Генерация сеток конечных элементов в GEOSTAR***

Генерация сетки конечных элементов это процесс получения узлов и элементов. Сетка образуется путем задания узлов и их последующего соеди­нения для определения элементов. Различные подменю генерации узлов и элементов на заданных объектах обеспечивают пользователя удобными средствами для реализации этого процесса. По мере возможности, а также в ряде случаев исходя из практичности, процесс генерации сеток выполняется непосредственно на геометрических объектах. На, каком бы этапе формирова­ния модели в

GEOSTAR элемент не создавался, с ним связываются теку­щие активные атрибуты: тип элемента, набор геометрических свойств, на­бор физических свойств и система координат элемента (команда EPROPSET предлагает другие процедуры для задания атрибутов элементов).

*1.4.1. Параметрическая генерация сеток конечных элементов*

Параметрическая генерация сеток конечных элементов применя­ется для параметризованных геометрических объектов, таких как линии, по­верхности и объемы. Пользователю предлагается задать число элементов и параметр неоднородности (spacing ratio) для каждого направления. Для генера­ции сеток на геометрических объектах имеются следующие команды.

M\_PT- генерация сетки одноузловых элементов типа MASS в точках.

M\_CR - генерация сетки двух и трех узловых одномерных элементов типа TRUSS3D или BEAM3D на линиях.

M\_SF - генерация сетки плоских элементов типа PLANE2D или SHELL на поверхностях.

M\_VL - генерация сетки пространственных элементов типа SOLID или MAG3D в объемах.

MPTDEL - уничтожение узлов и элементов массы в заданных точках.

MCRDEL - уничтожение узлов и ферменных или балочных элементов, связанных с заданными линиями.

MSFDEL - уничтожение узлов и оболочечных элементов, связанных заданными поверхностями.

MVLDEL - уничтожение узлов и объемных элементов, связанных с за­данными объемами.

*1.4.2. Автоматическая генерация сеток конечных элементов*

При автоматической генерации сетки конечных элементов формиру­ется сетка из треугольных элементов для таких объектов как поверхность, реги­он, многогранник и часть. Задается либо средний размер элемента, либо число элементов.

MA\_RG - генерация сетки плоских трех узловых элементов на ре­гионе, используя установки, сделанные для отдельных контуров.

MA\_SF - генерация сетки плоских трех узловых элементов на по­верхности.

MA\_PTRG - генерация сетки на регионе радиального расходя­щимся из точки, с возможностью улучшить сетку непосредственно около этой точки.

MA\_CTRG - генерация сетки на регионе радиального типа, рас­ходящимся от одного из внутренних контуров, с возможностью улучшить сетку непосредственно около этого контура.

MA\_NUSF - генерация неоднородной сетки на поверхности с возмож­ностью для пользователя задавать число элементов на каждой стороне поверх­ности.

MA\_PTSF - генерация сетки на поверхности радиального типа, расходящейся из точки, с возможностью улучшить сетку непосредственно около этой точки.

МА\_CRSF - генерация сетки на поверхности радиального типа, рас­ходящейся от одной своих сторон, с возможностью улучшить сетку непо­средственно около заданной стороны.

МА\_РН - автоматическая генерация сетки на многограннике.

МА\_PART - автоматическая генерация сетки на части. МАЯОСН - модификация сетки на регионе путем изменения числа узлов элементов.

MARGCH - модификация сетки на поверхности путем изменения числа узлов элементов.

MASFCH - уничтожение узлов и элементов, связанных с регионом.

MARGDEL - уничтожение узлов и элементов, связанных с поверхно­стью.

*1.4.3.* *Другие методы генерации сеток конечных элементов*

Во всех случаях, когда геометрический объект, покрытый сеткой ко­нечных элементов, используется для генерации одного и нескольких дополни­тельных объектов того же типа, при включении соответствующего флага все вновь созданные объекты будут покрыты сеткой, подобной сетке исходного объ­екта.

Двумерные конечные элементы (например, SHELL4) могут быть полу­чены путем таких операций, как выдавливание (extruding), оставление следа при вращении (sweeping), волочение (dragging) или скольжение (gliding), применен­ных к одномерным элементам (например, TRUSS2D).

Двумерные конечные элементы могут быть получены путем таких опе­раций, как выдавливание (extruding), оставление следа при вращении (sweeping), волочение (dragging) или скольжение (gliding), примененных к покрытым сеткой линиям при включении соответствующего флага для поверх­ностей.

Трехмерные конечные элементы (например, SOLID) могут быть полу­чены путем таких операций, как выдавливание (extruding), оставление следа при вращении (sweeping), волочение (dragging) или скольжение (gliding), приме­ненных к двумерным элементам (например, SHELL 4).

Трехмерные конечные элементы могут быть получены путем таких операций, как выдавливание (extruding), оставление следа при вращении (sweeping), волочение (dragging) или скольжение (gliding), примененных к по­крытым сеткой поверхностям или регионам при включении соответствующего флага для многогранника.