

ГЕНЕРАТОР ЗАМКНУТОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ТРИАНГУЛЯЦИОННОЙ СЕТКИ В КОМПЛЕКСЕ ПРОГРАММ ЛОГОС

Ф. О. Голомидов, В. А., Никитин А. И., Панов С. С. Соколов, А. В. Шурыгин

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В настоящее время во ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» разработан комплекс программ инженерного анализа ЛОГОС [1], предназначенный для подготовки, моделирования и анализа результатов задач прочности и тепломассопереноса с использованием супер-ЭВМ с массовым параллелизмом. Для подготовки начальных данных для расчетных методик, входящих в состав пакета программ (ПП) ЛОГОС, используется интегрированный в состав ЛОГОС препроцессор ЛОГОС-ПреПост.

При подготовке математических моделей задач тепломассопереноса используется генератор многогранных дискретных моделей, входящий в состав ЛОГОС-ПреПост.

Поверхностная сетка в ЛОГОС-ПреПост может быть получена из нескольких источников. Во-первых, подготовленная с использованием стороннего программного обеспечения поверхностная сетка может быть импортирована в ЛОГОС-ПреПост через обменный формат (*.stl, *.vtk и др.). Во-вторых, поверхностная сетка может быть сгенерирована для исходной геометрической модели в параметрическом представлении. И в-третьих, поверхностная сетка может быть получена на этапе перестроения поверхностной сетки в операции генерации объемной сетки.

Следует отметить, что в том случае, когда в качестве исходной модели используется геометрическая модель, получаемая из САД-систем, данная модель может состоять из множества поверхностей, не имеющих общей границы со счетной областью. Возникает необходимость изолировать «лишние» элементы поверхностей и выделить единую поверхностную сетку, по которой в дальнейшем будет построена объемная сетка.

Сам генератор поверхностной сетки, используемой в ЛОГОС-ПреПост, во всех случаях работает исключительно с исходной поверхностной триангуляционной сеткой. Поэтому, крайне важно, чтобы эта исходная сетка была корректной. Наличие несогласованностей (дефектов) в исходной триангуляции делают невозможным дальнейшее построение объемной сетки.

Устранение обнаруженных дефектов в ЛОГОС-ПреПост может быть проведено как в автоматическом, так и в ручном режимах. Для обнаружения несогласованностей в геометрических моделях ЛОГОС-ПреПост предоставляет специальные средства диагностики. Во многих случаях, тем не менее, автоматическое исправление проблем невозможно

или приводит к нежелательным побочным эффектам. В таких случаях у пользователя остается только вариант с ручным исправлением обнаруженных дефектов. Однако при большом количестве несогласованностей (обычно сотни и более), их исправление вручную является трудоемким и, как следствие, длительным мероприятием. Таким образом, существует высокая потребность в создании автоматических средств подготовки корректной замкнутой начальной триангуляционной сетки для последующего перестроения поверхностных и построения объемных сеток. Развитие таких средств позволит существенно сократить время подготовки 3D моделей к построению объемных сеток и тем самым заметно сократить общее время подготовки и проведения расчетов с использованием ПП ЛОГОС.

Коллективом авторов данной статьи было разработано средство, обеспечивающее возможность быстрой автоматической генерации корректных, замкнутых поверхностных сеток по исходной поверхностной сетке, содержащей различные несогласованности, дефекты в виде зазоров, пересечений, наложений треугольников и т. д.

Основные аспекты разрабатываемого генератора замкнутой поверхностной триангуляционной сетки

Метод генерации замкнутой поверхностной триангуляционной сетки (метод генерации ЗПТС), в литературе также встречается под названием метод вакуумной упаковки (метод ВУ), в области коммерческих программных систем инженерного анализа подход получил развитие, начиная с 2006 года. В настоящее время подобный инструмент реализован во многих коммерческих системах, например, таких как: CD-Adapco Star-CCM+, Altair HyperWorks, Siemens NX CAE, ANSA Beta CAE, ENGYS HELIX и др.

Публикаций, раскрывающих детали реализации этих генераторов, крайне мало. Одна из известных статей, авторы которой работали в компании FLUENT[2], описывают основные этапы и проблемы, связанные с реализацией подобного генератора, рис.1. В статье раскрываются основные действия, выполняемые на каждом из этапов.

Таким образом, задача генерации ЗПТС разбивается на следующие этапы:

– формирование начальной внешней оболочки методом построения адаптивной декартовой объемной сетки, рис. 1б;

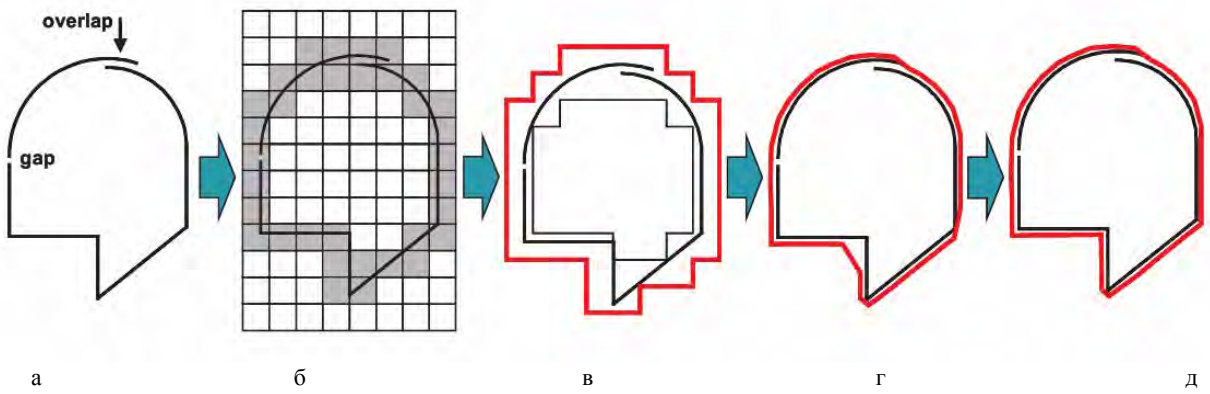


Рис. 1. Схема основных этапов генерации сетки методом ВУ:
а – исходные данные, б – этап 1, в – этап 2, г – этап 3, д – этап 4

- извлечение поверхностной сетки из граней поверхностных ячеек объемной сетки, рис. 1в;
- проецирование точек поверхностной сетки на поверхность исходной геометрической модели, рис. 1г;
- оптимизация полученной поверхностной сетки, рис. 1д.

На первом этапе работы программы генерации замкнутой поверхностной триангуляционной сетки (генератор ЗПТС) происходит чтение из файла в формате *.stl исходной геометрии и вызывается процедура, связывающая треугольники начальной геометрии в замкнутую поверхность. Для этого строится габаритная шестигранная сетка, в которую погружается исходная геометрия. Для вершин треугольников формируются списки вершин, «пригодных» для формирования узла сетки, и ребер, которые необходимо объединить. Затем происходит их объединение в топологически связанную поверхностную сетку, рис. 2.

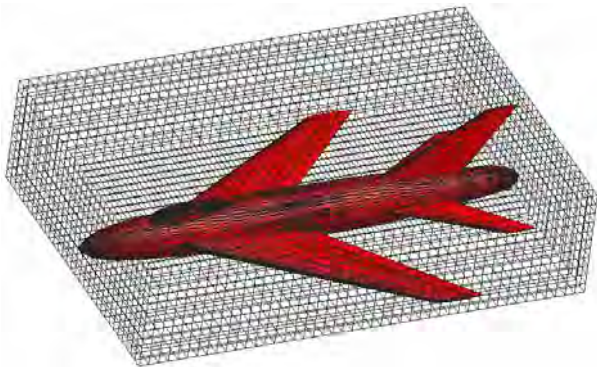


Рис. 2. Исходная геометрия, погруженная в габаритную шестигранную сетку

Если замкнутая поверхность сформировалась, то далее начинается анализ и коррекция результирующей поверхностной сетки, в противном случае, следующим этапом работы программы будет формирование вспомогательной объемной дробно-адаптивной сетки.

Ее формирование начинается с анализа пресечения треугольников исходной геометрии и ячеек вспо-

могательной габаритной шестигранной сетки. Для каждой ячейки формируется список индексов треугольников, пересекающих ее. Если же ни один треугольник не пересекает ячейку, то она удаляется.

Далее происходит дробление шестигранных ячеек по ряду критериев. К примеру, если ребро поверхностной сетки исходной геометрии находится внутри шестигранной ячейки, то она дробится на 8 подъячеек.

Следующим этапом снова проверяется пресечение треугольников с дочерними ячейками шестигранной сетки, и удаляются пустые ячейки, рис. 3.

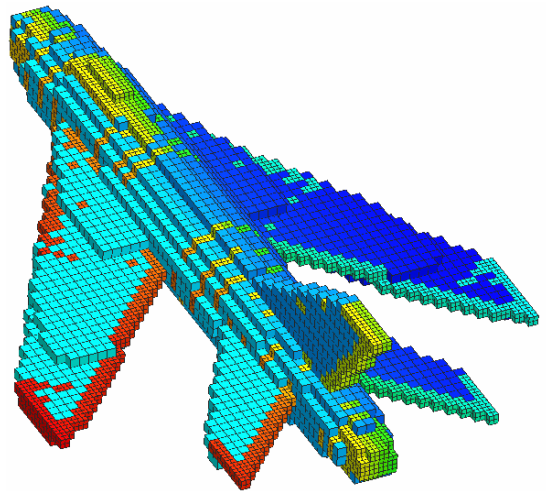


Рис. 3. Дробно-адаптивная шестигранная сетка, с учетом выкинутых непересекающихся с исходной поверхностью ячеек

После всех манипуляций с дробно-адаптивной сеткой, происходит извлечение из нее ступенчатой поверхностной сетки.

Сначала из списка граней области находятся граничные, которые становятся будущими ячейками поверхностной сетки. В итоге получается «внешняя» и «внутренняя» поверхности по отношению к начальной геометрии. На рис. 4 показано сечение (плоскость ХОУ), проходящее через середину фюзеляжа самолета. Затем выделяем поверхность, которая будет проектироваться на исходную геометрию. Фрагмент полученной «внешней» сетки показан на рис. 5.



Рис. 4. Сечение (плоскость XOY), проходящее через середину фюзеляжа самолета

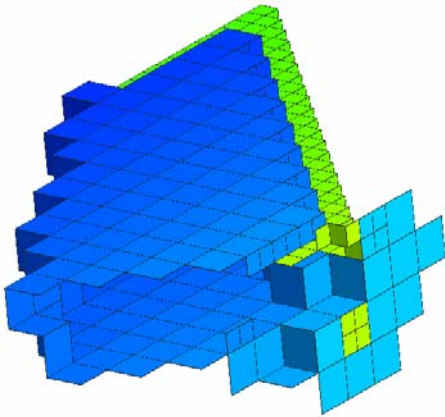


Рис. 5. Фрагмент полученной внешней сетки

Перед началом процедуры проектирования выполняется ряд оптимизаций ступенчатой поверхности, а также формируется ряд вспомогательных данных, описывающих характерные особенности исходной геометрии. Во вспомогательной информации о начальной топологии хранятся опорные линии. Опорные линии формируются по ребрам исходной поверхностной сетки, в местах, где угол между нормальными треугольниками, образующих исходную поверхность, больше заданного пользователем параметра (по умолчанию, он равен 30 градусам), рис. 6. В качестве оптимизаций применяется триангуляция и сглаживание ступенчатой поверхности. Сглаживание производится для минимизации возможности возникновения перехлестов при проектировании треугольников на поверхность, а также для более равномерного распределения узлов.

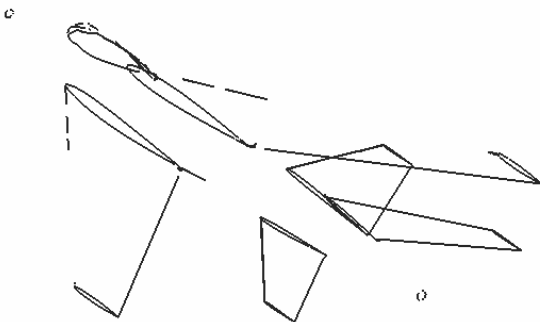


Рис. 6. Опорные линии исходной геометрии

На следующем этапе выполняется проектирование узлов оптимизированной поверхности на исходную геометрию. На этом этапе рассматривается каждый узел замкнутой поверхности и для него ищется ближайшая ячейка исходной сетки, на которой вы-

числяется точка проецирования. Узел замкнутой поверхности переносится в найденную точку. В результате, замкнутая поверхность «притягивается» к исходной сетке.

Результат работы программы показан на рис. 7.

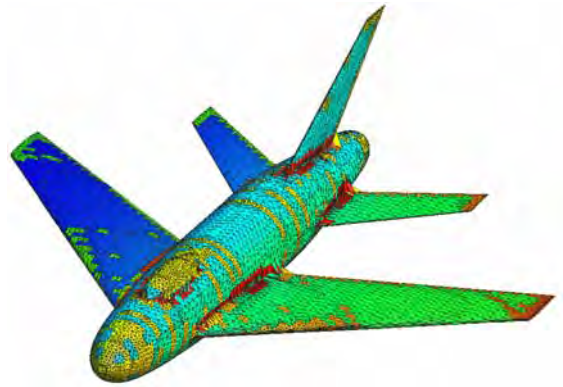


Рис. 7. Результат работы программы

Заключение

Коллективом авторов данной статьи был разработан программный продукт, обеспечивающий возможность быстрой автоматической генерации корректных, замкнутых поверхностных сеток по исходной поверхностной сетке, содержащей различные несогласованности, дефекты в виде зазоров, пересечений, наложений треугольников и т. д.

Для оценки качества получаемой поверхностной сетки был произведен ряд тестовых испытаний, в ходе которых были выявлены положительные стороны разработанного генератора ЗПТС, а также отмечены места, требующие доработки. В ходе тестовых испытаний, полученные поверхностные сетки проверялись на наличие дефектов. Дефекты, такие как открытые контура, зазоры, самопересечения и т. д., в результирующей геометрии обнаружены не были. Следует отметить, что в местах, где пересекается большое число опорных линий, генератор ЗПТС может выдавать не очень качественную сетку. В дальнейшем планируется развивать алгоритмы и улучшать их быстродействие, а также улучшать качество результирующей сетки.

Литература

1. Козелков А. С., Дерюгин Ю. Н., Зеленский Д. К., Полищук С. Н., Лашкин С. В., Жучков Р. Н., Глазунов В. А., Яцевич С. В., Курулин В. В. Многофункциональный пакет программ ЛОГОС: физико-математические модели расчета задач аэро-, гидродинамики и тепломассопереноса. Препринт № 111. – Саратов: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2013, 67 с.

2. Surface mesh generation for dirty geometries by shrink wrapping using cartesian grid approach. Y. K. Lee, Chin K. Lim, Hamid Ghazialam, Harsh Vardhan, Erling Eklund, Fluent Inc.