

# ПОСТРОЕНИЕ БЛОЧНО-РЕГУЛЯРНЫХ СЕТОК В ПРЕПОСТПРОЦЕССОРЕ LOGOS

*В. В. Лазарев, О. Н. Борисенко, В. Ф. Фархутдинов, Д. В. Логинов, Н. А. Ховрин*

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

## Введение

В рамках работ по внедрению технологий виртуального проектирования и компьютерного моделирования с использованием суперЭВМ, принятых в 2009 году по программе модернизации и технологическому развитию экономики России, в ИТМФ РФЯЦ-ВНИИЭФ разрабатывается ПреПостПроцессор LOGOS. ПреПостПроцессор LOGOS представляет собой пакет программных модулей для создания расчетной модели, подготовки и запуска решателя, визуализации и постобработки результатов расчета на компьютерах с массовым параллелизмом. Одним из методов построения расчетных сеток в ПреПостПроцессоре является метод блочно-регулярных сеток. Цель настоящего доклада – ознакомить с выполненной работой и планами дальнейшего развития по этому направлению.

Разработка генераторов для построения расчетных сеток в трехмерном пространстве остается одной из актуальных задач современного математического моделирования. В настоящий момент отсутствуют универсальные методы построения, которые бы подходили для решения широкого класса задач. Это привело к появлению множества различных подходов, которые нацелены на решение определенных типов задач с определенными ограничениями к результату работы.

Для многих задач желательны сетки с полностью четырехугольными или шестигранными ячейками. Сетки такого типа используются при решении задач обтекания летательных аппаратов, лопаточных машин. Построение сеток с такими свойствами автоматическими методами на сложных геометриях практически невозможно. Наиболее популярное решение – использование методов построения регулярных сеток с последующей их сшивкой в единую нерегулярную сетку. В результате мы получаем блочно-регулярную сетку. Метод не входит в класс автоматических строителей сеток, а предполагает активное взаимодействие с пользователем.

Наиболее популярным программным продуктом, в котором реализована поддержка блочных сеток, является ANSYS ICEM CFD [1]. Предоставляемый им функционал Blocking позволяет строить сетки на различных сложных геометриях. В LS PrePost [2] для построения блочных сеток используется генератор BlockM. Блочные сетки успешно используются в автоматических генераторах шаб-

лонных сеток для турбомашин. Например, ANSYS TurboGrid [1], IGG AutoGrid [3].

Реализация данного метода представляет собой комплексную задачу, в которой кроме структур данных представления блочной топологии, алгоритмов их обработки и построения сетки важной ролью является взаимодействие с пользователем – разработка графического интерфейса, визуализация, преобразование геометрии.

## Метод построения блочно-регулярных сеток

Сетка строится на основе блочной топологии. Блочная топология (или, просто, топология) представляет собой совокупность четырехугольных граней и шестигранных блоков, описывающих взаимное расположение регулярных сеток в единой нерегулярной сетке. Элементами топологии являются вершина, ребро, грань и блок (рис. 1,а). Соответствующие им элементы геометрии мы будем называть узлом, кривой, поверхностью и телом (рис. 1,б).

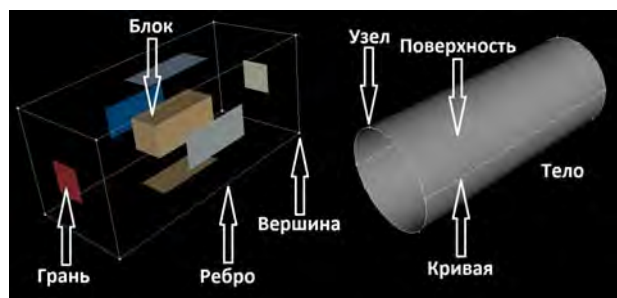


Рис. 1. а – блочная топология; б – геометрия

Реализация блочной топологии также поддерживает несогласованную структуру, т. е. когда грань или ребро могут разделяться несколькими гранями или ребрами. Это уменьшает количество блоков для описания одной и той же геометрии по сравнению с согласованным вариантом. Примеры несогласованной топологии приведены на рис. 2.

В общем случае, построение блочно-регулярных сеток состоит из четырех этапов:

1. Построение блочной топологии.
2. Задание связей элементов топологии с элементами геометрии.
3. Задание размеров ячеек и областей сгущения/разрежения.

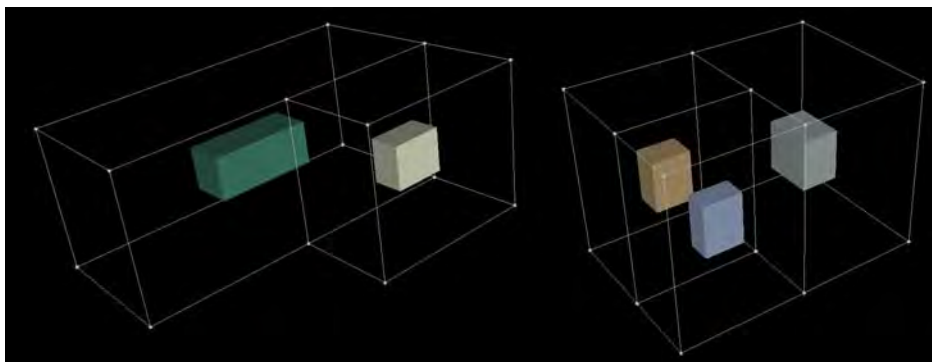


Рис. 2. Примеры несогласованной топологии

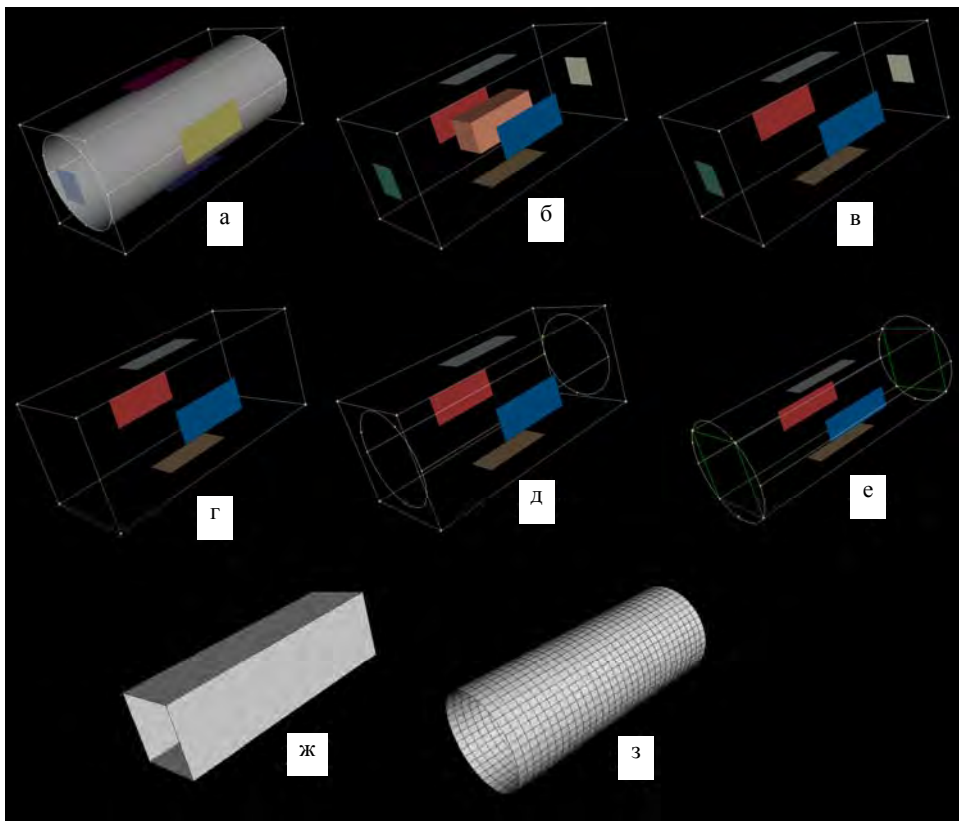


Рис. 3. Последовательность построения сетки на цилиндрической оболочке: а – начальный блок с геометрией; б – начальный блок без геометрии; в – разбиение блока на грани; г – удаление двух граней; д – топология с геометрией; е – ассоциация ребер с кривыми; ж – сетка без заданных параметров разбиения; з – сетка с заданными параметрами разбиения

#### 4. Построение сетки.

Наиболее сложный этап – построение блочной топологии. Это нетривиальная задача, решение которой зависит от сложности геометрии и опыта пользователя.

На втором этапе задаются связи между элементами топологии и геометрии. В дальнейшем такое действие будем называть ассоциацией. Цель этапа ассоциации – обхватить блочной топологией геометрию и указать расположение узлов сетки на геометрии.

На третьем этапе через распределение узлов сетки на ребрах и задание максимального размера элемента сетки задаются размеры ячеек и области сгущения/разрежения.

На четвертом этапе происходит построение выбранного типа сетки.

Последовательность этапов жестко не задана и может изменяться и повторяться. На рис. 3 представлена последовательность выполнения команд для построения сетки на цилиндрической оболочке.

## Команды метода построения блочно-регулярных сеток

Для построения блочно-регулярных сеток на данный момент используются 20 команд, которые можно условно объединить в пять групп:

- Создание топологии.
- Связывание топологии с геометрией.
- Редактирование топологии.
- Задание параметров сетки.
- Построение сетки.

Рассмотрим содержание каждой группы подробнее.

**Создание топологии** происходит с помощью комбинаций команд создания, удаления, разбиения и объединения элементов топологии. В настоящий момент реализованы следующие команды:

- создание блока по габаритной коробке;
- разбиение блока на грани;
- создание блока из граней;
- создание блока вытягиванием грани;
- разбиение топологии по ребру;
- разбиение выбранных блоков по ребру;
- построение O-топологии по выбранным вершинам, ребрам, граням и блокам;
- разбиение выбранных граней по ребру;
- объединение двух узлов/ребер/граней/блоков в один;
- удаление грани/блока.

**Связывание топологии** с геометрией происходит с помощью команд:

- ассоциации вершины с узлом/кривой/поверхностью;
- ассоциации ребра с кривой/поверхностью;
- ассоциации грани с поверхностью;
- удаление ассоциации вершины/ребра/грани.

Проассоциированная с геометрическим элементом вершина имеет возможность перемещаться только вдоль этих элементов. Таким образом, если вершина проассоциирована с узлом, то перемещение ее невозможно без удаления этой ассоциации.

Узлы сетки, связанные с ассоциированными элементами топологии, располагаются на соответствующих геометрических элементах.

Под **редактированием топологии** понимается изменение свойств топологических элементов. В настоящий момент реализованы:

- перемещение вершины;
- искривление/выпрямление ребер;
- ортогонализация двух ребер.

Так как не всегда на геометрии имеются необходимые геометрические кривые, то была добавлена возможность искривления топологического ребра. Искривленное топологическое ребро – это сплайн, задаваемый через контрольные точки и вершины

ребра. Перемещение контрольных точек ограничивается в случае, если ребро проассоциировано.

Ортогонализация ребра – это автоматическое перемещение вершины одного ребра так, что это ребро образует со вторым выбранным ребром прямой угол.

Параметры сетки задаются через распределение узлов сетки на ребрах. На данный момент реализованы четыре типа разбиения ребер: равномерное, геометрическое, двойное геометрическое и бигеометрическое. На рис. 4 показаны сетки, полученные с использованием различных типов разбиений.

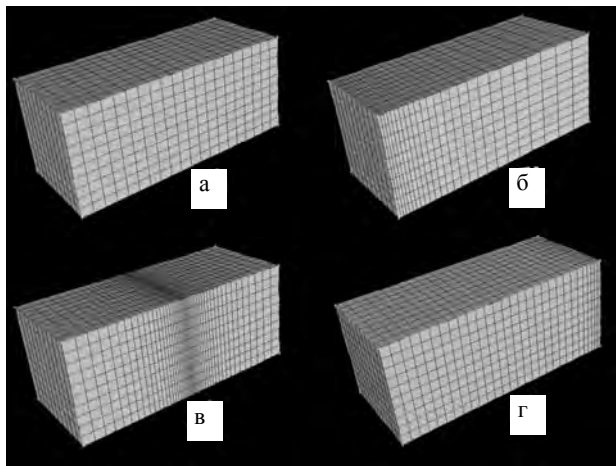


Рис. 4. Примененные типы разбиения ребер: а – равномерный; б – геометрический; в – двойной геометрический; г – бигеометрический

По умолчанию используется равномерное разбиение (рис. 5,а). Геометрический (рис. 4,б,в) и двойной геометрический типы распределения узлов реализованы с использованием формул геометрической прогрессии. Для бигеометрического типа размеры ячеек с концов вычисляются с помощью геометрических прогрессий, средние же ячейки имеют одинаковый размер.

Сетка строится на основе топологии и геометрии. На первом этапе происходит разбиение ребер на основе заданного типа распределения и ассоциированной кривой или поверхности. На основе разбиения ребер строится сетка на гранях. Далее, узлы построенной сетки проецируются на поверхность геометрии. Сетка на блоках строится на основе сеток на гранях. Для получения итоговой нерегулярной сетки происходит сшивка блочных сеток с удалением дублируемых узлов. Возможно сохранение реберной, поверхностной или объемной сетки как в регулярном, так и в нерегулярном виде.

Дополнительные функции, которые упрощают работу построения топологии:

- выборочная визуализация блоков;
- показ разбиения ребер;
- показ направления ребер;

- показ ассоциаций ребер с кривыми;
- поддержка мыши;
- повтор/отмена выполненных команд;
- оптимизация перерисовки топологии.

## Примеры решенных задач

Один из стандартных примеров – построение двумерной сетки для задачи обтекания профиля крыла – представлен на рис. 5. Геометрия задана в виде самого профиля и границ зоны моделирования (рис. 5,а). Блочная топология, состоящая из 10 граней с тремя искривленными и тремя проассоциированными ребрами, представлена на рис. 5,б. Полученная сетка имеет вид, как на рис. 5,в.

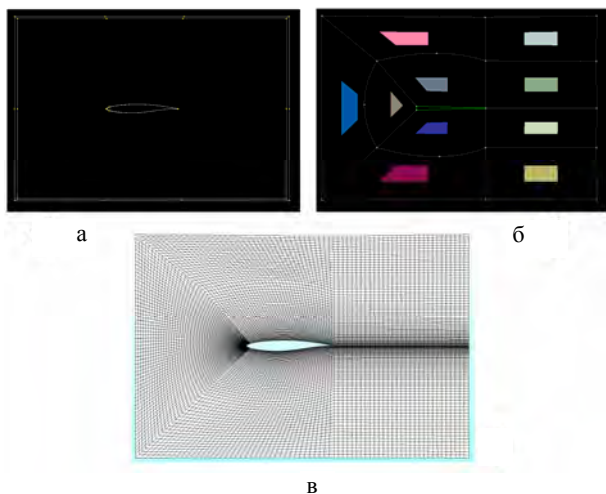


Рис. 5. Построение сетки на профиле крыла: а – геометрия профиля крыла; б – топология с использованием криволинейных ребер; в – двумерная сетка профиля крыла

Как видим, плавность сеточных линий вокруг профиля удалось получить с использованием криволинейных ребер. Сгущение линий сетки добились заданием геометрического типа распределения ячеек на выбранных ребрах.

Сетка на рис. 6 представляет пример использования О-топологии и искривления ребер внутреннего О-блока для получения результата. На рис. 6,б представлен разрез сетки, на котором видно увеличение внутреннего блока топологии.

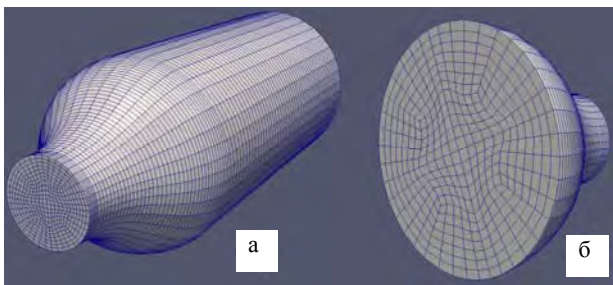


Рис. 6. Объемная сетка на дросселе: а – полученная сетка; б – сетка в разрезе

Следующий пример (рис. 7) представляет получение результата комбинированием построения блочной сетки с последующим ее поворотом с копированием.

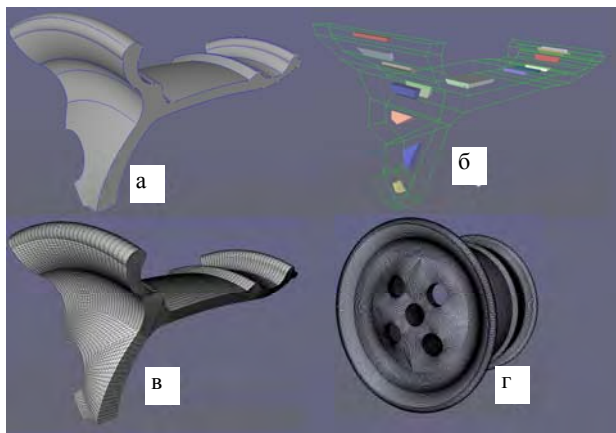


Рис. 7. Построение сетки на колесе: а – геометрия; б – топология; в – сетка; г – конечная сетка, полученная поворотом с копированием

## Планы дальнейшего развития

Одна из основных задач, которую необходимо решить, – уменьшение трудоемкости построения блочных сеток. Так как большую часть времени занимает построение топологии, то основное внимание уделено расширению функционала по работе с топологией, автоматизации действий пользователя при обработке топологии для сложных геометрий. Решением является автоматическое определение входных данных по некоторым начальным условиям – параллельности элементов, структуре блочной и геометрической топологии; автоматическое разрешение некоторых задач с ручным исправлением неправильных и т. п. Такой подход уменьшит трудоемкость при обработке множества однотипных данных.

Следующая основная задача – это распараллеливание процесса построения сетки.

## Литература

1. Официальный сайт компании ANSYS Inc. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ansys.com>.
2. Официальный сайт компании LSTC Corp. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.lstc.com>.
3. Официальный сайт компании NUMECA International Corp. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.numeca.com>.