

УДК 519.6
DOI 10.53403/9785951505071_2022_273

ПОСТРОЕНИЕ СМЕЩЕННОЙ СЕТКИ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ В ПАКЕТЕ ПРОГРАММ «ЛОГОС»

В. В. Лазарев, О. Н. Борисенко

Российский федеральный ядерный центр –
Всероссийский НИИ экспериментальной физики, Саров

В докладе предложен алгоритм построения смещенной сетки по заданной поверхностной треугольной сетке. Подробно рассмотрены особенности геометрических моделей, поверхностной сетки и пользовательских данных, которые усложняют решение данной задачи. Представлены результаты построенных сеток.

Ключевые слова: пограничный слой, смещенная сетка, пакет программ ЛОГОС.

Введение

Компьютерное моделирование обтекания твердого тела жидкостью или газом имеет практическое значение при проектировании сложных изделий. Для инженера представляет интерес скорость потока, давление и температура около обтекаемого тела. При неудовлетворительном результате, геометрическая модель изменяется, и расчет проводится повторно. Для поиска оптимальной формы конструкции выполняется серия из ста и более расчетов. Для выполнения таких работ нужны инструменты для автоматической подготовки дискретной модели к расчету и эффективный параллельный расчетный код.

Большая часть времени компьютерного моделирования тратится на подготовку модели к расчету. Автоматическое построение на ней качественной расчетной сетки за приемлемое время остается нерешенной задачей [1]. Построение сетки может занимать до 50–90 % времени [2, 3] от всего цикла моделирования. Много времени тратится на удаление излишне мелких деталей и исправление ошибок в представлении геометрии.

В ИТМФ разрабатывается пакет программ инженерного анализа ЛОГОС [4], включающий в свой состав инструменты для решения задач аэрогидродинамики (CFD) – это построение расчетной сетки [5] и решение системы уравнений Навье – Стокса для вязкого турбулентного течения [6]. Одна из основных задач заключается в уменьшении общего времени моделирования за счет сокращения времени подготовки данных к расчету. Это создает дополнительные трудности при построении расчетной сетки.

Чаще всего в CFD расчетах применяется гибридная сетка, состоящая из трех типов ячеек. Вблизи тела выделяется пограничный слой – анизотропная сетка из призматических ячеек. Оставшаяся часть модели заполняется адаптивной шестигранной сеткой, которая измельчается в области, близкой к объекту моделирования. Пересекающиеся с пограничным слоем шестигранные ячейки усекаются, превращаясь при этом в многогранные ячейки. Подробное описание такой сетки и алгоритма ее построения опубликовано в работе [5].

Пограничный слой – это тонкий слой вокруг обтекаемого тела. Численное решение в нем характеризуется сильным градиентом скорости потока по нормали к поверхности тела и незначительным градиентом вдоль тела. Поэтому для расчета в этой подобласти наиболее эффективна анизотропная сетка.

Существуют различные способы выделения пограничного слоя. Один из них – это прямое построение анизотропной тетраэдрной сетки [7]. Сетка строится триангуляцией Делоне. Управление размерами ячеек и их вытягивание в нужном направлении достигается за счет искривления пространства полем метрических тензоров. Недостаток сетки из тетраэдров в том, что, по сравнению с призмами, при одинаковой плотности узлов для ее хранения используется больше памяти. Поэтому предпочтительнее использовать призмы, которые к тому же вытягиваются без вырождения угла. Существуют три основных подхода к построению пограничного слоя из призматических ячеек. Первый подход заключается в последовательном наращивании призм в квазинормальном к телу направлении [8, 9]. Вторым подходом является смещение исходной сетки тела сразу на толщину слоя [10] с последующим разбиением на слои выделенного объема. Третий подход работает по уже существующей изотропной объемной сетке и вклинивает призматические ячейки между ней и телом [11].

Представленная в докладе работа является продолжением ранее выполненной работы [5]. В ней описывается алгоритм, основанный на втором подходе построения пограничного слоя. В отличие от третьего подхода, для него не нужна объемная сетка, а в отличие от первого – формируется гладкая поверхность границы слоя, что необходимо для дальнейшего корректного построения объемной сетки. Сложность построения смещенной сетки связана с особенностями геометрических моделей, поверхностной сетки и пользовательских данных.

Особенности, влияющие на построение смещенной сетки

Ниже приведены особенности входных данных, которые усложняют построение смещенной сетки – снижают устойчивость процесса построения, ухудшают качество результирующей сетки. Эти особенности можно условно разделить на несколько групп:

1. Малые детали в конструкции и их плотное размещение.
2. Узкие зазоры между деталями конструкции.
3. Острые стыки поверхностей.
4. Узкие поверхности, приводящие к вырожденным ячейкам.
5. Вогнутые области с высокой кривизной.
6. Неточный стык двух поверхностей.
7. Сгущение сетки на ровной поверхности.
8. «Дребезг» треугольников.
9. Большие величины смещения относительно размеров треугольников.

Рассмотрим подробнее пункты 1, 6, 7, 8, 9.

Малые детали в конструкции и их плотное размещение. Сложные геометрические модели могут содержать большое количество мелких деталей, таких, как элементы механизации крыла, подвес для вооружения, антенны, рассекатели. Размеры этих деталей значительно меньше габаритов области обтекания. Качественное описание этих деталей в сеточной модели приводит к необходимости уменьшения размера ячеек, что усложняет процесс и увеличивает время построения сетки.

Неточный стык двух поверхностей. Геометрическая модель в граничном сплайновом представлении не всегда корректно описывается. Несмотря на то, что оболочка является замкнутой в терминах топологических объектов, геометрически имеет существенную погрешность в местах пересечения поверхностей. Исходя из практических результатов, а также на основании [2], можно сказать, что погрешность стыковки двух поверхностей (CT , curve tolerance) на один порядок больше, чем допуск на объединение узлов (SPT , same point tolerance). При моделировании вязких течений, толщина первой ячейки пограничного слоя намного меньше величины CT [2]. Чтобы получить замкнутую сетку, нужно сшить сетки на поверхностях. Если $CT > SPT$, то в сетку добавляются дополнительные вырожденные треугольные ячейки, чтобы заполнить зазор. В результате могут возникать перехлесты поверхностей, либо скачки высот между поверхностями в местах их стыковки.

Сгущение сетки на ровной поверхности. Величину CT можно уменьшить с помощью локальных модификаций сплайновых поверхностей, но это приводит к осцилляциям кривизны на границе этих поверхностей. Такие осцилляции влияют на построение поверхностной сетки, образуя сгущения

сетки на «ровной» поверхности. На рис. 1 показан пример поверхностной сетки со сгущением в месте контакта крыла с закрылками.

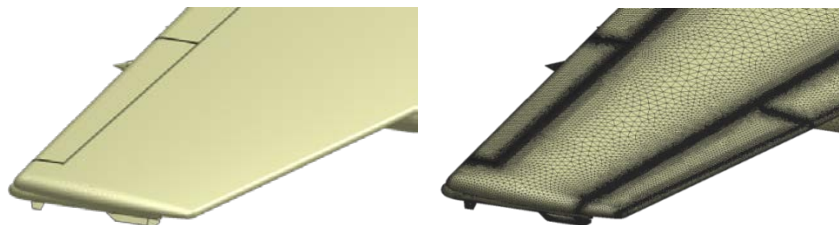


Рис. 1. Исходная геометрическая модель и поверхностная сетка со сгущениями

«Дребезг» треугольников. Дребезг треугольников – это такое расположение треугольников, при котором появляются сеточные ребра с большой величиной двугранного угла и не упорядоченные в единую кривую. Он возникает на стыке двух поверхностей с малым, относительно размера ячеек, радиусом скругления. На рис. 2 показан фрагмент геометрии, на котором выделены сеточные ребра с двугранными углами больше 30° .

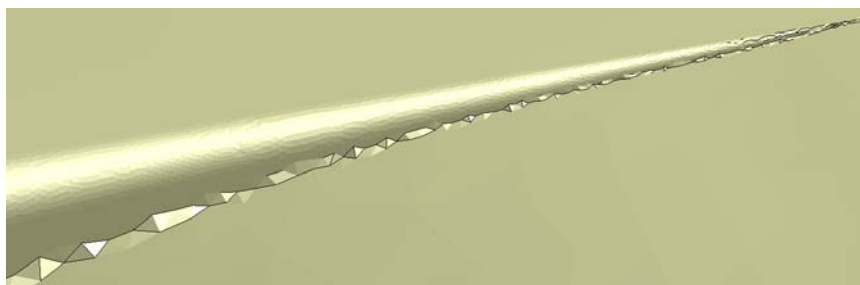


Рис. 2. Дребезг ячеек сетки в местах гладкой стыковки поверхностей

Дребезг обычно появляется на ребрах, которые расположены поперек асимптотической кривой и недостаточно точно аппроксимируют кривизну.

Это связано с тем, что поверхностная сетка строится фронтом от границы, который может не совпадать с асимптотическими линиями искривленной поверхности.

Большие величины смещения относительно размеров граней. Отношение толщины слоя к наименьшей длине ребра правильной грани (вырожденные грани не рассматриваются) может достигать 100 раз. Незначительная несогласованность направлений смещения смежных узлов приводит к перехлестам сетки, как показано на рис. 3.

Такая проблема возникает из-за существенного различия размеров сеточных элементов, описывающих мелкие детали конструкции и область моделирования в целом. Пользователь задает значение смещения, как правило, не учитывая возможность присутствия в сетке более детализированных конструктивных элементов, что и приводит к описанной выше проблеме. Задача алгоритмов построения сетки – взять на себя корректное разрешение таких ситуаций.

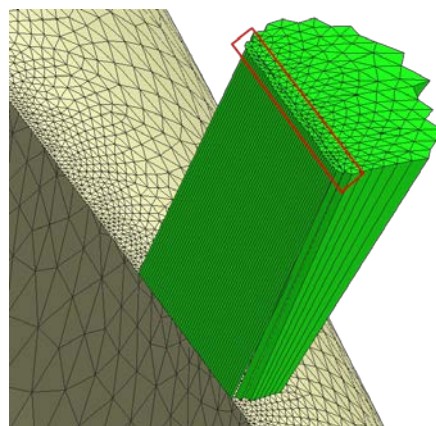


Рис. 3. Пример перехлеста граней смещенной сетки

Алгоритм построения смещенной сетки

Исходная геометрическая модель аппроксимируется замкнутой поверхностной треугольной сеткой без пересечений. Назовем ее исходной сеткой. Каждая грань исходной сетки принадлежит определенному набору граней, образующих замкнутую область. Такой набор граней называется патчем. Для каждого патча определен признак и величина смещения.

Для корректного описания топологических особенностей модели на исходной сетке должны быть выделены характерные кривые, которые используются для описания острых кромок и/или деталей поверхности и представляют собой набор ребер и узлов, которые обязательно должны присутствовать в сетке. Дополнительно в качестве характерных кривых выделяются границы между патчами и специально выделенные пользователем кривые. В алгоритме построения смещенной сетки вводится понятие характерной вершины. Характерная вершина – это узел характерной кривой, отвечающий одному из условий:

- 1) наличие излома кривой;
- 2) стыковка двух и более характерных кривых;
- 3) начальная или конечная точкой кривой.

Множество узлов исходной сетки, которые не относятся к характерным кривым и вершинам, называются гладкой областью.

Необходимо построить смещенную сетку, удовлетворяющую условиям:

- 1) близкое к заданным значениям расстояние между гранями исходной и смещенной сеток;
- 2) отображение гладких областей в гладкие области;
- 3) отображение характерных кривых в характерные кривые;
- 4) отсутствие пересечений между исходной и смещенной сетками.

Алгоритм построения смещенной сетки состоит из следующих этапов:

- 1) вычисление нормалей в узлах исходной сетки;
- 2) вычисление начальной смещенной сетки;
- 3) оптимизация направлений смещений;
- 4) удаление пересечений в сетках;
- 5) сглаживание изломов в смещенной сетке.

Для упрощения изложения предполагается, что смещение пограничного слоя проводится в направлении нормалей к граням исходной сетки.

Вычисление нормалей в узлах характерных кривых и вершинах подробно описана в работе [5]. Нормаль в узле гладкой области и характерной кривой вычисляется как взвешенные по углу и величине смещения нормали инцидентных граней:

$$\bar{n}_i = \frac{\sum_j^{N_i} \bar{n}_{ij} \alpha_{ij} d_{ij}}{\left| \sum_j^{N_i} \alpha_{ij} d_{ij} \right|}$$

где N_i – количество инцидентных узлу i граней, α_{ij} – угол в узле i грани j , \bar{n}_{ij} – нормаль в инцидентной грани j , d_{ij} – смещение в этой грани. Заметим, что нормаль имеет единичную длину. В характерной вершине нормаль определяется через шар, вписанный в многогранный угол.

Смещение узла задается двумя параметрами – направлением и величиной смещения. Предполагается, что направление смещения всегда нормализовано. Координаты смещенного узла i могут быть в любой момент вычислены как:

$$\bar{p}'_i = \bar{p}_i + \bar{d}_i * v_i$$

где \bar{p}_i – координаты узла исходной сетки, \bar{d}_i – направление, а v_i – величина смещения. Величина $\bar{p}'_i - \bar{p}_i = \bar{d}_i * v_i$ называется вектором смещения.

Вектор смещения определяется только в тех узлах исходной сетки, которые необходимо сместить, т. е. в узлах смещаемых патчей. Начальные направления смещения совпадают с нормальями

исходной сетки. Направления смещений в узлах на границах смещаемого и несмещаемого патчей проецируются на поверхность несмещаемого патча, как приведено в работе [5].

Величина смещения в узле вычисляется как:

$$v_i = \min \left\{ \frac{v_{ij}}{\max(\bar{d}_i \bar{n}_{ij}, \cos \frac{\pi}{4})} \right\}.$$

Здесь v_{ij} – заданное пользователем смещение на инцидентной грани, \bar{n}_{ij} – нормаль грани, \bar{d}_i – направление смещения в узле.

Величина в знаменателе выражения представляет собой скалярное произведение нормали к грани и вектора смещения в узле. Она ограничена значением косинуса 45° , чтобы не допустить излишнего смещения узлов в местах острого стыка граней. На данный момент в алгоритме существует два типа узлов, для которых невозможно построить корректное смещение:

- узлы на границе смещаемого и несмещаемого патчей, если угол между нормальными граней этих патчей меньше 20° ;

- узлы, в которых углы между направлением смещения и нормалью инцидентной грани больше 85° .

Для этих типов узлов величина смещения обнуляется, и смещенная сетка для них не строится. Второй тип узлов характерен острому стыку двух поверхностей, местам наложения одной поверхности на другую из-за неточного стыка, а также характерным вершинам, в которых не существует оптимального направления смещения.

В результате выполнения первых двух этапов построения смещенной сетки, приведенных выше, формируется сетка, в общем случае не удовлетворяющая условиям 2, 3 и 4. Третий этап – оптимизация направлений смещений – предназначен для решения следующих задач:

- 1) уменьшить отклонение от плоскости боковых граней призм, основаниями которых являются грани исходной и смещаемой сеток;

- 2) исключить самопересечения смещенной сетки;

- 3) уменьшить площадь перехлеста в смещенной сетке.

Оптимизация направлений смещений выполняется локально в местах перехлестов смещенной сетки и их окрестностей. Узел считается перехлестнувшимся, если существует исходящее из него ребро такое, что скалярное произведение векторов, сформированных на ребрах исходной и смещенной сетки, отрицательное. Вокруг каждого перехлестнутого узла формируется область точек, расстояние до которых не превышает величины смещения и сглаживается способом, изложенным в работе [5] для этого узлы сортируются, начиная от характерных вершин по направлению характерных кривых, а затем вглубь гладкой области.

На четвертом этапе в смещенной сетке удаляются пересечения локальным уменьшением величины смещения. Можно выделить три типа пересечения:

- 1) самопересечения граней смещенной сетки;

- 2) пересечения граней исходной и смещенной сеток;

- 3) перехлест в смещенной сетке.

Как правило, перехлест смещенной сетки обычно возникает на характерных кривых – в местах излома исходной сетки, как показано на рис. 4.

Для устранения пересечений площадь перехлеста минимизируется при оптимизации направлений смещений. Если этого недостаточно, то уменьшается расстояние между смещенной и исходной сеткой. Одновременно с устранением перехлестов уменьшается искривление боковых граней призм. Величина смещения в узле поджимается так, чтобы все инцидентные ребра смежных узлов удовлетворяли условиям:

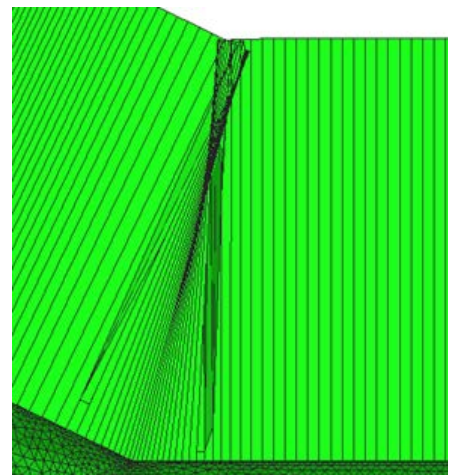


Рис. 4. Перехлест смещенной сетки в месте излома исходной сетки

- 1) угол отклонения от исходных ребер не должно превышать 40° ;
- 2) отношение их длин не должно быть больше, чем 100 раз.

Оставшиеся пересечения определяются парой граней f_i и f_j . Смещения в узлах граней уменьшаются на 30 %, кроме узлов, в которых смещение в два раза меньше наибольшего смещения в узлах второй грани или отношение разницы величин смещений в гранях к расстоянию до соседнего узла в исходной сетке превышает единицу.

Первое условие позволяет равномерно сжиматься двум противоположно растущим друг к другу областям смещенной сетки. Это условие позволяет исключить избыточное поджатие тонкого пограничного слоя, если одна из областей должна быть поджата по другим причинам, а вторая имела свою первоначальную толщину. Второе условие – это приближенный способ вычисления тангенса угла между исходным и смещенным ребром для общего случая, когда 4 точки (два смежных узла и их смещения) могут не лежать на одной плоскости. Оно исключает из поджатия узлы грани, которые не являются причиной пересечения.

Если смещение в узле меньше некоторого порогового значения, то оно обнуляется, что позволяет исключить вырождение пограничного слоя в узких областях.

Описанные выше действия выполняются до тех пор, пока не будут исключены все случаи пересечений.

В местах удаления пересечений и обнуления смещений образуются изломы, которые нарушают условия 2 и 3 построения смещенной сетки. Перед сглаживанием изломов необходимо ограничить отклонение нормалей граней смещенной сетки от граней исходной сетки значением 45° . Эти области отмечены на рис. 5 красными окружностями.

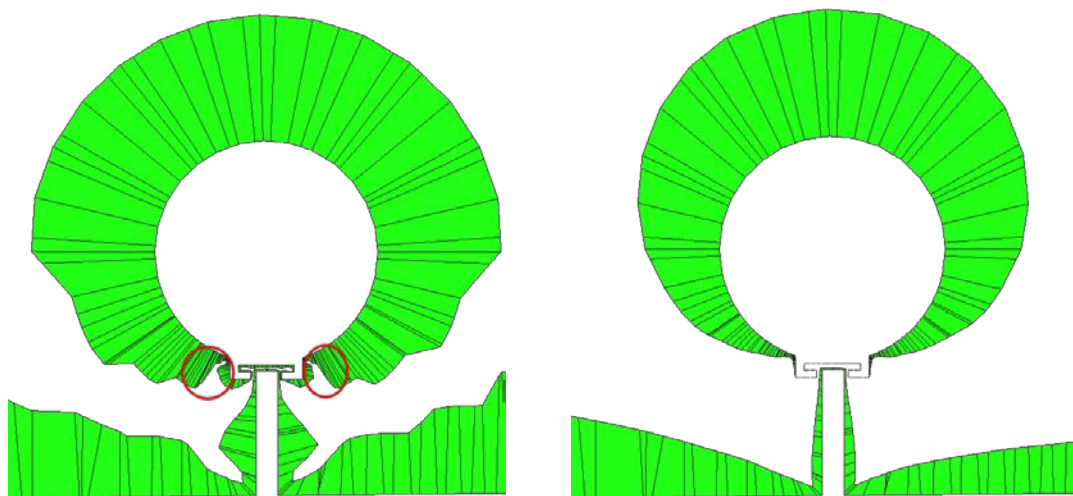


Рис. 5. Смещенная сетка до и после сглаживания изломов

Сглаживание изломов стартует с начального фронта. Начальный фронт составляют смещенные узлы, в которых нарушен критерий излома. Сглаживание происходит итерационно широким фронтом от начальной области вглубь до тех пор, пока невязка больше заданной величины. Невязка вычисляется как отношение величины сдвига на среднюю длину ребер в узле смещенной сетки. В каждом сглаживаемом узле вычисляется величина сдвига. Направление сдвига определяется направлением смещения. На каждой итерации смещение уменьшается на 30 % от части сдвига в узле.

Сдвиг в узле вычисляется по-разному в зависимости от области, которой принадлежит узел – гладкой, характерной кривой или вершине.

Для узла характерной кривой сдвиг вычисляется следующим образом. Пусть \bar{p}_0 – координаты смещенного узла, в котором есть излом. Соседями узла по кривой являются узлы \bar{p}_1 и \bar{p}_2 . Пусть \bar{p} – это проекция узла \bar{p}_0 на отрезок (\bar{p}_1, \bar{p}_2) . Тогда величину сдвига можно вычислить по формуле $s = (\bar{p} - \bar{p}_0) \cdot \bar{d}$, как схематично показано на рис. 6.

Если узел принадлежит гладкой области, то для удаления излома используется решение задачи потока средней кривизны [12]:

$$\frac{\partial \bar{x}}{\partial t} = -\kappa_H \bar{n} \quad (1)$$

где κ_H – средняя кривизна поверхности, \bar{n} – нормаль поверхности. Поток деформирует поверхность в нормальном направлении со скоростью равной ее средней кривизне. Для быстрого сглаживания в работе [12] предложена аппроксимация (1) для явной схемы и единичного шага, которая имеет следующий вид:

$$(\kappa_H \bar{n})_{normalized} = \frac{\sum_j^{N_i} (ctg(\alpha_j) + ctg(\beta_j)) (\bar{p}_i - \bar{p}_j)}{\sum_j^{N_i} (ctg(\alpha_j) + ctg(\beta_j))} \quad (2)$$

где \bar{p}_j – координаты смежного узла, α_j и β_j – углы противоположные инцидентному ребру j . Для смещенной сетки деформация (2) проецируется на направление смещения, и сдвиг в узле вычисляется по формуле $s = \bar{d} \cdot (\kappa_H \bar{n})_{normalized}$.

Если узел является характерной вершиной, то величина нового смещения в нем, вычисляется как средняя проекция векторов смещения смежных узлов на направление смещения данной вершины. Сдвиг будет вычисляться, как разность нового и старого смещений.

Критерий излома определяется отдельно для характерных вершин, характерных кривых и гладких областей.

Узел характерной вершины по определению является изломом. Если узел смещенной сетки не повторяет выпуклость (вогнутость) узла исходной сетки, то излом фиксируется для последующего сглаживания.

Поскольку границы характерных кривых принадлежат группе характерных вершин, то любой узел характерной кривой содержит два инцидентных с ним ребра, принадлежащих этой кривой. Угол между этими ребрами на исходной сетке должен быть согласован с углом ребер смещенной сетки с некоторой погрешностью t_\angle . В противном случае в узле характерной кривой фиксируется излом.

Не всегда гладкая область является действительно гладкой. Область может иметь нулевую кривизну в одном направлении и ненулевую в ортогональном – как, например, для цилиндрических поверхностей. В гладкую область может попасть «дребезг» треугольников, для которых двугранный угол на ребрах может достигать $30^\circ - 40^\circ$. Это связано с тем, что при выделении характерных кривых, как правило, используется предельный угол, равный 44° . Попытки сгладить такие изломы на смещенной сетке приводят к уменьшению толщины пограничного слоя до нуля в выпуклых областях и увеличению в вогнутых. Поэтому излом на смещенной сетке определяется с учетом излома на исходной. Для каждого инцидентного узла ребра вычисляется двугранный угол со знаком – отрицательный для вогнутых областей и положительный для выпуклых. Двугранный угол на смещенной сетке должен повторять этот же угол на исходной сетке с некоторой погрешностью t_\angle . В результате анализа тестирования на базе моделей с различными значениями параметра t_\angle была выбрана величина $t_\angle = 7^\circ$.

Примеры построения смещенных сеток

В этом разделе представлены результаты построения смещенной сетки. Для наглядности смещенная сетка показана сечением треугольных призм, помещенных на исходную сетку. Геометрическая модель самолета Су – 47 была взята с ресурса [13].

На рис. 7 показано сечение сетки на крыле самолета. Исходная сетка показана бежевым цветом, смещенная – набором призматических ячеек зеленого цвета. Углубления показывают границу раздела крыла и предкрылка. Пограничный слой сжимается в этих углублениях, но затем относительно быстро набирает высоту.

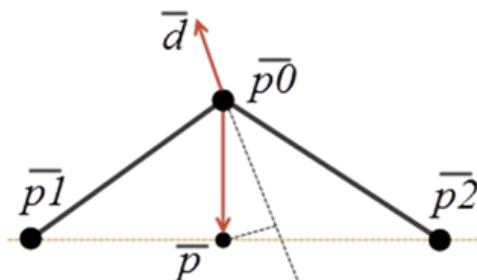


Рис. 6. Сдвиг узла характерной кривой

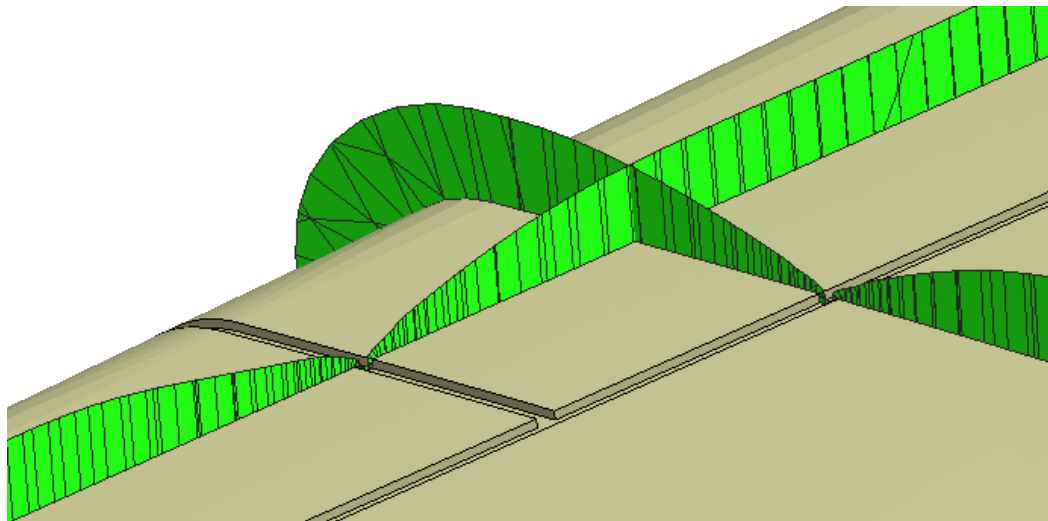


Рис. 7. Исходная и смещенная сетки на крыле самолета

На рис. 8 показаны смещенная сетка (справа) и ее сечение (слева) на головной части блока ракеты. Нос ракеты и края цилиндрических отверстий на конусе создают острый угол, в котором поджимается смещенная сетка. На рис. 8, где показана смещенная сетка, видно, что характерные кривые отверстий сохранились четко.

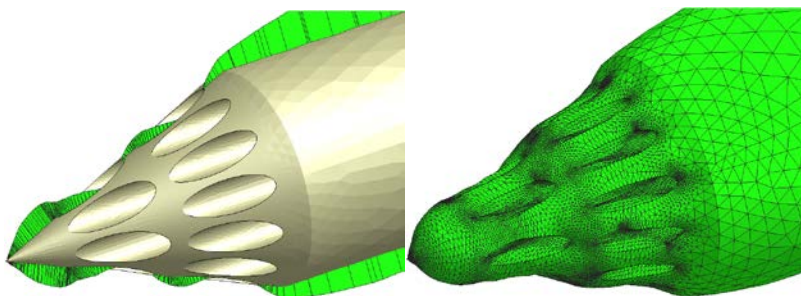


Рис. 8. Сечение и смещенная сетка на блоке ракет

На рис. 9 показаны смещенная сетка и ее сечение на приемнике воздушного давления. Данный случай показывает пример подробной детализации модели. Толщина штанги и размеры дополнительных элементов на ней меньше, чем заданная пользователем толщина пограничного слоя.

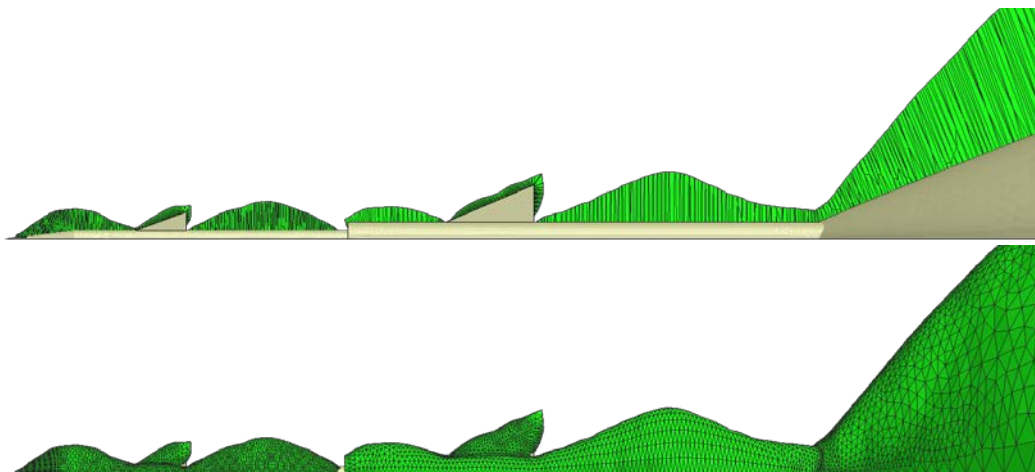


Рис. 9. Сечение и смещенная сетка на приемнике воздушного давления

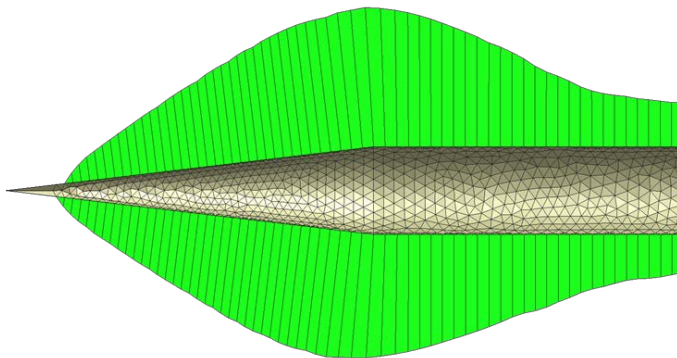


Рис. 10. Смещенная сетка со стороны плоскости симметрии на приемнике воздушного давления

На рис. 10 показана смещенная сетка со стороны плоскости симметрии. Виден острый кончик, на котором произошло «схлопывание» пограничного слоя.

На рис. 11 показан срез смещенной сетки на стыке двух поверхностей. Погрешность стыковки была выше величины допуска при объединении узлов, поэтому отверстие «зашилось» дополнительными треугольными ячейками. Характерной особенностью этого случая является ступенька, высота которой уменьшается до нуля и разворачивается в обратную сторону. Из сечения видно, что смещение поджимается на ней быстро и гладко, после чего быстро выходит на нужную высоту.

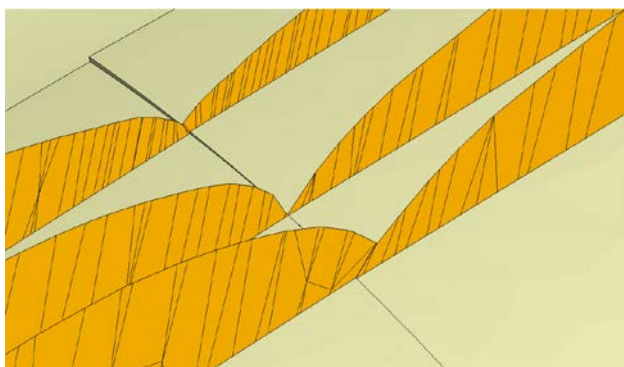


Рис. 11. Серия сечений смещенной сетки на месте неточного контакта двух поверхностей

На рис. 12 показано сечение смещенной сетки в области «дребезга» ячеек. Видно, что смещенная сетка построена корректно.

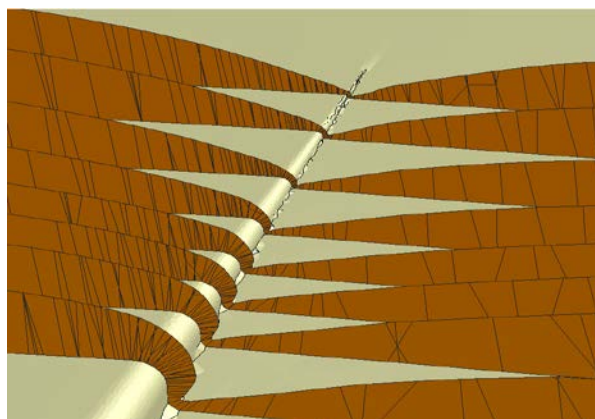


Рис. 12. Серия сечений смещенной сетки в области дребезга треугольников

Заключение

В докладе представлен алгоритм вычисления смещенной треугольной сетки, являющийся развитием алгоритма, представленного в работе [5].

Наибольшее внимание было уделено сохранению необходимой толщины пограничного слоя при устранении пересечений различных видов, обработке острого стыка граней, «дребезга» граней и поддержке гладкости смещенной поверхности. Выделены особенности геометрических моделей, поверхностных сеток и пользовательских входных данных, которые усложняют решение данной задачи, указаны причины их появления. Представлены примеры построенных смещенных сеток.

Литература

1. Slotnick J., Khodadoust A., Alonso J., Darmofal D., Gropp W., Lurie E., Mavriplis D. CFD Vision 2030 Study: A Path to Revolutionary Computational Aerosciences. – Hampton, Virginia: NASA Langley Research Center, 2014.
2. Steinbrenner J. P. The Link Between Mesh and Geometry in Pointwise // ITI CAE Geometry Workshop: Cambridge, UK, 14–15 September, 2017.
3. Sevilla R., Hassan O. Generation of meshes without de-featuring // CAE Geometry Workshop: Cambridge, UK, 14–15 September, 2017.
4. ЛОГОС: Пакет программ инженерного анализа и суперкомпьютерного моделирования [Электронный ресурс] – Режим доступа: www.logos.vniief.ru
5. Смолкина Д. Н., Борисенко О. Н., Черенкова М. В., Гиниятуллина А. Г., Кузьменко М. В., Чухманов Н. В., Потехина Е. В., Попова Н. В., Турусов М. Р. Автоматический генератор неструктурированных многогранных сеток в препроцессоре пакета программ "ЛОГОС" // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Математическое моделирование физических процессов. – 2018. – Вып. 2. – С. 25–39.
6. Козелков А. С., Жучков Р. Н., Уткина А. А., Володченкова К. Б. Моделирование турбулентных течений на сетках гибридной структуры с использованием схем высокого порядка точности // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Математическое моделирование физических процессов. – 2014. – Вып.3. – С. 18–31.
7. Borouchaki H., George P., Hecht F., Laug P., Saltel E. Delaunay mesh generation governed by metric specifications. Part I. Algorithms // Finite Elements in Analysis and Design. – 1997. – Vol. 25. – P. 61–83.
8. Kallinderis Y., Ward S. Prismatic grid generation for three-dimensional complex geometries // AIAA Journal. – 1993. – Vol. 31, No. 10. – P. 1850 – 1856.
9. Шмелева А. К., Воропинов А. А. Алгоритмы построения трехмерных неструктурированных сеток на основе поверхностной сетки для методики ТИМ // XVI Международная конференция «Супервычисления и математическое моделирование»: Труды конференции. Саров, 3–7 октября, 2016. С. 336–344.
10. Garimella R. V., Shephard M. S. Boundary layer mesh generation for viscous flow simulations // International Journal for Numerical Methods in Engineering. – 2000. – Vol. 49. – P. 193–218.
11. Bottasso C. L., Detomi D. A Procedure for Tetrahedral Boundary Layer Mesh Generation // Engineering with Computers. – 2002. – Vol 18, № 1. – P. 66–79.
12. Desbrun M., Meyer M., Schröder P., Barr A. Implicit Fairing of Irregular Meshes using Diffusion and Curvature Flow // SIGGRAPH 99: Conference Proceedings. August 1999. P. 317–324
13. GrabCAD: Design Community, CAD Library, 3D Printing Software [Electronic resource] – Mode of Access: <https://grabcad.com/>

OFFSET BOUNDARY-LAYER MESH GENERATION IN THE “LOGOS” SOFTWARE PACKAGE

V. V. Lazarev, O. N. Borisenko

Russian Federal Nuclear Center –
All-Russian Scientific Research Institute of Experimental Physics, Sarov

The paper presents an algorithm for constructing an offset mesh from a given triangular surface mesh and considers in detail the features of geometric models, surface meshes and user-defined data, which complicate this task. Results of mesh construction are reported.

Key words: boundary layer, offset mesh, LOGOS software package.