

## Метод построения слоистых пространственных сеток с помощью электростатической аналогии

П.С.Тихонычев

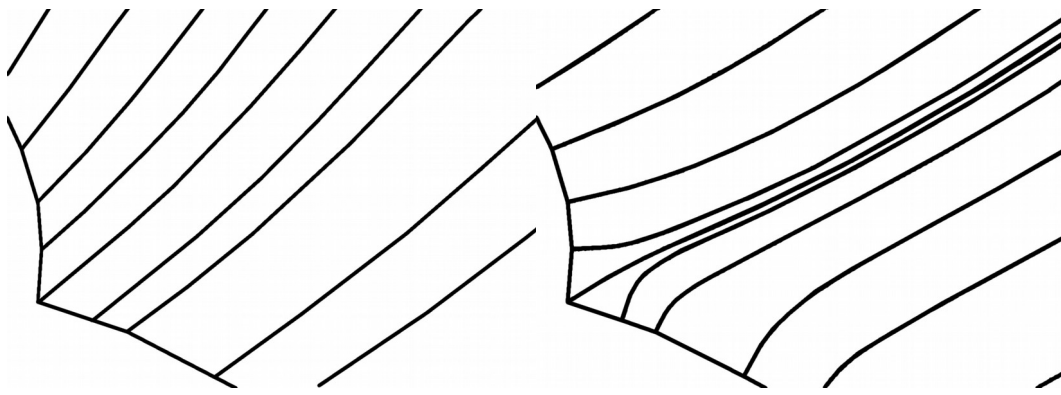
Поверхность ГЛА предполагается односвязной, но не всегда выпуклой. Для моделирование внешнего обтекания таких ГЛА предлагается использовать слоистую расчётную сетку. Основной проблемой построения таких сеток на не выпуклом теле является самопересечение образующих сетки в углах поверхности тела.

Из электростатики известно, что силовые линии электрического поля, касательные к которым задаются уравнением (1), не пересекаются. Поэтому можно построить силовые линии электрического поля, идущие от точек поверхности ГЛА и, принимая их за образующие, построить слоистую расчётную сетку.

$$\vec{E} = \frac{q}{|r|^2} \frac{\vec{r}}{|r|} \quad (1)$$

Хотя силовые линии электрического поля не могут пересекаться, они могут очень близко сближаться (характерное поведения силовых линий в углу), что приводит к большому скачку размеров соседствующих ячеек. (ссылка на статью, описывающую влияние скачка размеров ячеек на качество расчёта). Поэтому классический электростатический потенциал предлагается заменить на более далекодействующий (2), при котором влияние изломов поверхности в области этих изломов было бы соизмеримо с влиянием оставшейся поверхности.

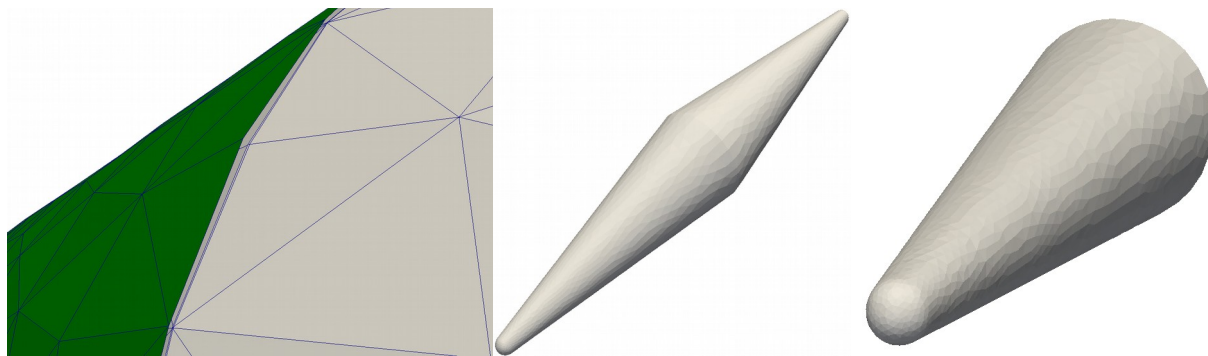
$$\vec{E} = \frac{q}{|r|^b} \frac{\vec{r}}{|r|} \quad (2)$$



Для построений силовых линий, идущих от поверхности тела, нужен некий источник зарядов, который был бы целиком внутри обтекаемого тела. В роли такого источника могут выступать точки поверхности самого тела, но, для того чтобы избежать неопределённости поля в самих точках, начать построение силовых линий следует после вытягивания по нормали на небольшое расстояние от поверхности. Так как силовые линии не взаимодействуют между собой, количество операций при таком построении пропорционально квадрату точек поверхности тела. Но, так как было предложено использовать далекодействующий потенциал, скорость построения может быть увеличена, если использовать в качестве источника зарядов другую поверхность. Она должна быть приближена к исходной, но может быть сильно разреженной. Такая разреженная поверхность может в некоторых местах выходить за исходное тело, поэтому в этом случае необходимо источник зарядов втянуть внутрь по нормали на некоторое расстояние, причём эти нормали могут уже пересекаться, это не окажет сильного влияния на расчётную сетку, так как источник зарядов - набор заряженных точек. Каким они разбиты на треугольники, пересекаются ли эти треугольники, какова их ориентация, всё это не важно.

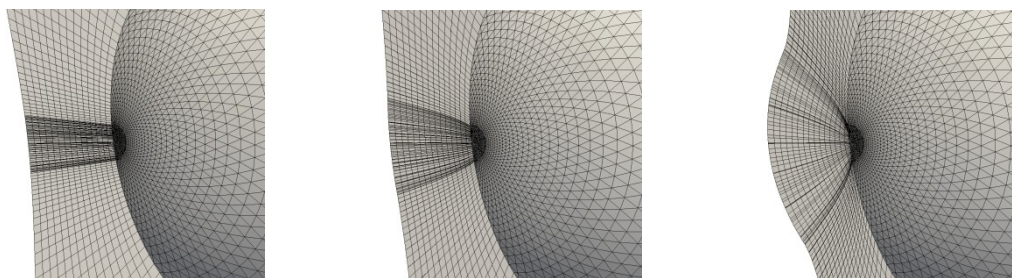
Если требуется расчёт ГЛА вместе с донной областью, поверхность ГЛА является замкнутой, и построенной по такому принципу расчётной сетки будет достаточно, так как внешнюю границу можно легко разбить на входную и выходную, течение на которой было бы сверхзвуковым. Если требуется провести расчёт без донной области, границей расчётной области будет состоять из некого

отображения поверхности тела и поверхности, полученной при вытягивании крайнего сечения тела. Появляется задача сделать эту поверхность такой, чтобы течение на ней было сверхзвуковым. Самый простой способ гарантировать это - сделать эту поверхность плоской. Для того чтобы поверхность, натянутая на силовые линии, исходящие из крайнего сечения тела, была плоской нужен источник заряда, имеющий плоскость симметрии, проходящую через крайнее сечение тела (предполагается, что это сечение целиком лежит в одной плоскости). Для получения такого источника заряда нужно добавить к источнику, построенному по предыдущему принципу, его симметричное отображение относительно интересующей нас плоскости. Число точек нового источника возрастёт вдвое, равно как и время построения расчётной сетки. Такова цена плоской выходной границы.

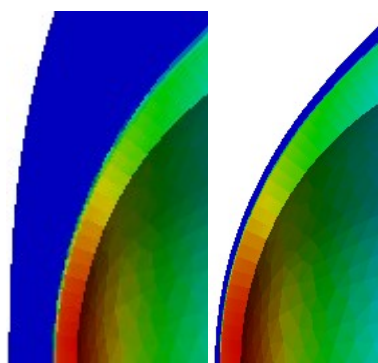


Если точки источника заряда будут заряжены одинаково, в областях сгущения силовые линии будут расходиться, в областях разрежения - сжиматься. Чтобы сгладить этот эффект, нужно изменять заряды точек в зависимости от плотности их распределения по поверхности (3). Где  $q_i$  — заряд точки поверхности,  $s_i$  — средняя площадь элементов поверхности, к которым она принадлежит.

$$q_i = s_i^a \quad (3)$$



Положение внешней границы сетки в общем случае заранее не известно, но хотелось бы получить её гладкой. Для этого необходимо управлять длинами образующих сетки. Это не возможно сделать в общем виде из-за слишком большого количества факторов, влияющих на направление и изгиб направляющих. Поэтому для решения этой задачи предлагается получить сетку любого качества, пригодную для расчёта не вязкого обтекания, а затем подстроить длины образующих сетки под положение ударной волны. На рисунках показано положение внешней границы до адаптации и после.



Был создан сеточный генератор, который решает вышеназванные проблемы и задачи, а так же и другие сопутствующие.