

**Информация о ходе выполнения работ, выполняемых
по Соглашению № 14.574.21.0118 от 24 ноября 2014 г. о предоставлении субсидии в
рамках федеральной целевой программы "Исследования и разработки по
приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России
на 2014-2020 годы"**

2 Этап «Теоретические исследования поставленных перед ПНИ задач. (1 очередь)»

1) Разработаны алгоритмы решения связанных задач прочности на основе разработанных на первом этапе математических моделей с возможностью учета излучения, геометрической (изменения геометрии тела в процессе расчета) и физической (зависимость термических и механических характеристик от температуры) нелинейностью. Выполнена программная реализация разработанных алгоритмов. Проведено исследование их работоспособности на задачах расчета термоупругого состояния нескольких конструкций носовых обтекателей летательных аппаратов. Результаты моделирования подтвердили адекватность получаемых характеристик и необходимость учета трехмерности изучаемых полей, геометрической и физической нелинейности.

2) Разработаны алгоритмы автоматического перестроения геометрии тела и расчетной сетки:

а) разработаны структуры данных для хранения геометрии произвольных конструкций, характеристик материалов, краевых условий, управления построением сетки, которые будут связывать графический интерфейс и вычислительную часть;

б) разработаны алгоритмы построения нерегулярных сеток с призматическими ячейками (и с устранением "лишних" узлов) в конструкциях произвольного типа с возможностью встраивания в них подобластей с уже построенной сеткой. При построении сеток в конструкциях с криволинейными границами и поверхностями предусмотрено использование параметризации NURBS, квадратичных и кубических парабол/поверхностей, окружностей/сфер.

Выполнена реализация разработанных алгоритмов и проведено исследование как их принципиальной работоспособности (включая точность получаемых решений), так и исследование их вычислительной эффективности и качества получаемых с их использованием сеток в сравнении с одним из наиболее распространенных на сегодняшний день конечноэлементным пакетом ANSYS.

Проведенные исследования показали, что использование разработанных в ходе данной ПНИ алгоритмов построения сеток, позволяет, как минимум, на порядок сократить временные затраты на построение конечноэлементной сетки в достаточно простых областях (и более чем на два порядка в сложных) не только без потери ее качества, но и с существенным сокращением трудозатрат пользователя на ее построение. Кроме того, предлагаемый алгоритм построения (и перестроения) сетки с учетом возможности локальных дроблений позволяет при примерно одинаковом количестве узлов получить более плавные сгущения и гораздо более мелкие ячейки сетки в местах образования концентраторов.

3) Разработаны алгоритмы уменьшения погрешности численных решений с применением p -технологии, h -технологии и p - h -технологии. Алгоритмы, реализующие p -технологии (локального повышения порядка элемента), являются новыми и основаны на использовании иерархических базисных функций на несогласованных призматических сетках, а алгоритмы, реализующие h -технологии основаны на выполнении локальных встроенных дроблений таких сеток. Разработанные алгоритмы не требуют перестройки всей сетки и приводят к крайне низким вычислительным затратам (порядка долей секунды). При этом предложенные подходы к заданию геометрии конструкций, а также алгоритмы построения сетки и ее локальных дроблений позволяют выполнять встроенные дробления на ее "прообразе" (шаблонной сетке), что, в свою очередь, обеспечивает возможность использования параметризации NURBS не только на этапе построения первичной сетки, но и при ее перестроении в окрестностях концентраторов напряжений.

4) Разработаны алгоритмы автоматической генерации сетки с итерационной процедурой определения мест ее сгущения для типовых видов конструкций. Поскольку для таких конструкций управление сеткой производится заданием небольшого числа параметров, итерационная процедура автоматической генерации основана на определении наиболее значимо влияющего параметра сетки на точность решения и соответствующем дроблении сетки. Разработаны подходы к параметризации геометрии типовой конструкции, регулировке подробности и сгущений конечноэлементной сетки, а также алгоритмы ее построения для двух (специальных) типов конструкций, которые будут включены в библиотеку макрообъектов. Корректность разработанных алгоритмов для данных типов конструкций проверена путем решения задач термоупругости для обтекателей летательных аппаратов и задач расчета напряженно-деформированного состояния для изотропных и ортотропных пластин с отверстием.

Таким образом, значительная часть разработанных на данном этапе базовых для создаваемого ЭО ПО алгоритмов доведена до реализации и прошла первичное тестирование. При этом первые результаты исследования работоспособности и возможностей разработанных алгоритмов показали их преимущества перед аналогами.