

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ FSI ПРИ РАСЧЕТЕ НАЗЕМНОЙ АНТЕННЫ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

К.В.Кузнецов, ООО «ТЕСИС», Москва

С усложнением конструкции стационарных антенн и увеличением их размеров одним из доминирующих факторов, принимаемых во внимание при расчете на прочность и жесткость, является ветер [2]. Но зачастую корректно определить суммарные ветровые нагрузки на рефлектор антенны и на элементы его конструкции не представляется возможным. С применением технологии FSI (fluid-structure interaction) данная инженерная задача может быть решена с достаточной точностью и минимумом затрат.

Цель моделирования состоит в определении напряженно-деформированного состояния конструкции рефлектора стационарного антенного устройства при действии на него скоростного напора в совокупности с собственным весом. Основными задачами моделирования являются:

- создание конечно-элементной модели рефлектора в [SIMULIA Abaqus](#);
- создание расчетной модели в [FlowVision HPC](#);
- проведение совместного (FSI) расчета;
- анализ полученных результатов.

Антенный пост (рис. 1) представляет собой осесимметричную двухзеркальную [1] антенну с диаметром рефлектора 12 метров, установленную на азимутально-угломестном опорно-поворотном устройстве. Рефлектор, в свою очередь, изготовлен в виде конструкции, состоящей из ступицы (центральной части), выполненной в виде сварного конуса диаметром основания 2500 мм и высотой 2500 мм, силового каркаса, состоящего из 24 радиальных ферм, соединенных между собой кольцевыми элементами, и рабочей поверхности, набранной из 60 лепестков, с фокусным расстоянием 5500 мм.

В данной постановке рефлектор антенны испытывает следующие воздействия:

- собственный вес – основная и постоянно действующая нагрузка;
- ветровая нагрузка, которая обычно подразделяется на рабочую, с ограничением работы материала основной конструкции и соединений упругой стадией, и максимальную, при которой антенна не эксплуатируется, а зеркальная система закрепляется в положении

«в зенит», когда значения аэродинамических нагрузок минимальны.

Температурные деформации и возникающие напряжения вследствие разности коэффициентов линейного расширения несущего каркаса и обшивки рефлектора, а также динамические и гололедные воздействия вынесены из рассмотрения.

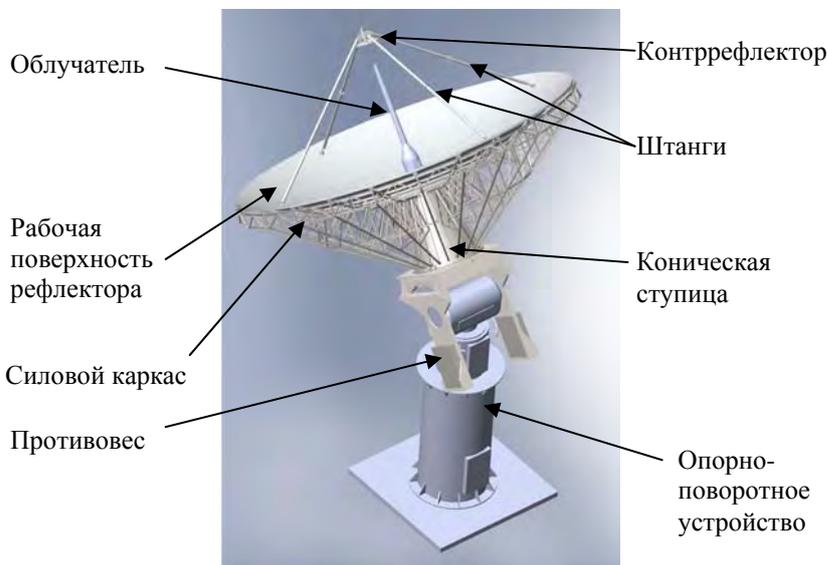


Рис. 1 Общий вид антенного устройства

Для того чтобы выявить наиболее опасное положение рефлектора антенны при воздействии ветра рабочей скорости, были проведены предварительные расчеты во FlowVision [4]. На рис. 2, 3 и 4 соответственно представлены зависимости аэродинамических коэффициентов лобового сопротивления  $c_x$ , подъемной силы  $c_y$ , и продольного момента  $m_z$  рефлектора от угла наклона фокальной оси по отношению к воздушному потоку. Сплошная линия на рисунках - кривая, построенная по осредненным экспериментальным данным для параболоидов диаметром от 2 до 10 метров, пунктирная – расчетные нагрузки на рефлектор в сборе.

Из графиков видно, что полученные во FlowVision результаты в целом качественно повторяют эксперимент, а расхождение в количественных показателях можно объяснить недостаточным геометрическим подобием между экспериментальной и численной моделями, а также расхождением по числам Рейнольдса. Однако, на основе полученных результатов можно сделать вывод о том, что максимальные нагрузки на рефлектор действуют при наклоне фокальной оси к потоку в  $60^\circ$ .

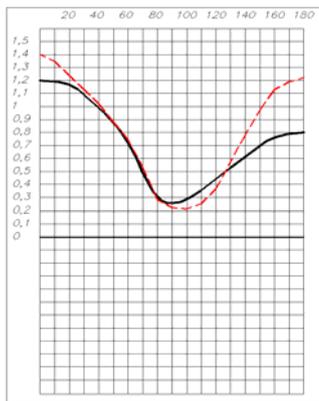


Рис. 2 Коэффициент  $c_x$

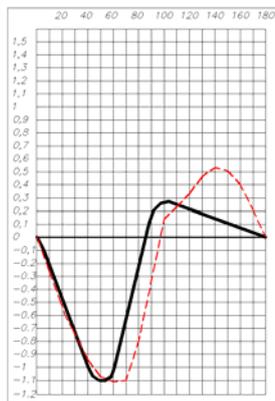


Рис. 3 Коэффициент  $c_y$

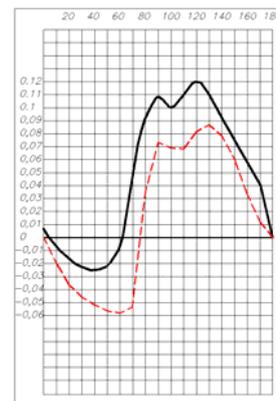


Рис. 4 Коэффициент  $m_z$

Далее в программном комплексе SIMULIA Abaqus [3] была построена конечно-элементная модель рефлектора антенны. Общая размерность модели составляет примерно 55 тысяч узлов. В ней широко использованы элементы типа Connector, с помощью которых моделируются болтовые соединения между радиальными и кольцевыми частями силового каркаса, а также узлы опирания панелей отражающей поверхности. Так как на данный момент FlowVision принципиально трехмерная программа, то для того, чтобы провести совместный (FSI) расчет, лепестки рабочей поверхности рефлектора моделируются при помощи элементов типа Continuum Shell (SC8R). Для того чтобы передать ветровые нагрузки на штанги контррефлектора (балочные элементы B31), вокруг них построены цилиндрические поверхности типа Surface, не имеющие жесткости и массы (элементы SFM3D4R). Между поверхностными и стержневыми элементами задан Tie-контакт, что позволяет передать нагрузку на последние.

На основе конечно-элементной модели Abaqus была построена расчетная модель во [FlowVision](#), представляющая собой расчетную область в виде параллелепипеда с помещенным в нее подвижным телом (антенной). Размерность расчетной сетки составляет примерно 320 тысяч ячеек.

Совместное моделирование проводилось в течении 100 секунд, шаг обмена составлял 0,1 секунды. При этом в Abaqus задавался шаг Static/General в линейной постановке (солвер Standard). Таким образом, проведенный FSI-расчет можно причислить в типу One way coupling.

Результаты расчета, представлены на рис. 5. Здесь изображены прогибы отражающей поверхности рефлектора при рабочей скорости ветра, которые составляют 2,3 мм, что удовлетворяет требованиям, предъявляемым к данной конструкции (максимальный прогиб обшивки не должен превышать 3 мм)

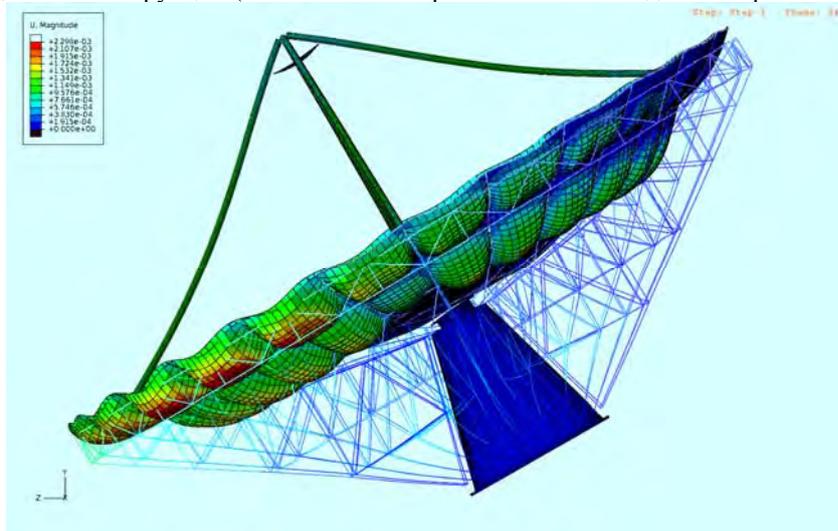


Рис. 5 Прогибы рефлектора (масштаб перемещений 350:1)

Проведенное численное моделирование с использованием технологии FSI и полученное НДС конструкции при различных вариантах нагружения показало эффективность программных комплексов SIMULIA Abaqus и FlowVision HPC для решения инженерных задач подобного рода, а также открыло возможности для последующих исследований аэроупругих характеристик данной конструкции.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мельников Н. П. Металлические конструкции. Справочник проектировщика. М.: Стройиздат 1980. 776 с.
2. Бахрах Л. Д. Проблемы антенной техники. М.: Радио и связь 1989. 368с.
3. ABAQUS. Analysis User's Manual. Version 6.7.
4. FlowVision HPC. Руководство пользователя. Версия 3.07.01.