

## МЕТОДИЧЕСКОЕ И ЧИСЛЕННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЕРИФИКАЦИИ ПРОЧНОСТИ РЕФЛЕКТОРА ЗЕРКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ

Доронин С.В., Рейзмунт Е.М., Филиппова Ю.Ф.

Институт вычислительных технологий СО РАН, Красноярский филиал, г. Красноярск

Конструкции крупногабаритных прецизионных рефлекторов зеркальных антенн  $Q/K_a$  частотного диапазона, изготавливаемые с использованием полимерных композиционных материалов, относятся к инновационным изделиям наземных систем спутниковой связи. Процедура верификации является неотъемлемым и важнейшим элементом процесса разработки новой техники. Она заключается в оценке и подтверждении соответствия проектируемого изделия техническим требованиям.

В соответствии с ГОСТ ISO/IEC 17000-2012 «Оценка соответствия. Словарь и общие принципы» понятие «оценка соответствия» связано с выражением «выполнение заданных требований» [1], что позволяет положить ГОСТ ISO/IEC 17000-2012 в основу концепции анализа соответствия рефлектора техническим требованиям. С учетом положений указанного ГОСТ и общенаучных методологических соображений (закон достаточного основания, свойство доказательности) [2, 3] сформулирована концепция анализа соответствия рефлектора техническим требованиям, включающая в себя следующие положения:

- оценка соответствия – доказательства того, что заданные требования к продукции выполнены;
- оценка соответствия включает в себя последовательность трех функций, которые удовлетворяют необходимости доказать, что заданные требования выполняются: выбор; определение; итоговая проверка и подтверждение соответствия;
- для выбора объекта оценки соответствия принимаются во внимание его особенности: объектом оценки соответствия может быть партия идентичных изделий, отдельно взятое изделие или его часть. Естественным ограничением при выборе объекта является степень проработанности конструктивных решений рефлектора;
- определение характеристик рефлектора на предмет оценки соответствия осуществляется с использованием экспериментальных, аналитических и численных методов механики деформируемого твердого тела. Естественными ограничениями при определении характеристик выступают наличие технических возможностей проведения экспериментальных исследований, соотношение объемов финансирования и стоимости проведения экспериментов, количество экспериментальных образцов, изготовленных и предоставленных для проведения экспериментов;
- полученные результаты справедливы на доказательной базе, опирающейся на выполненный объем экспериментальных исследований физико-механических характеристик конструкционных материалов и достигнутый уровень проработки конструкторско-технологических решений и детализации геометрических моделей рефлектора;
- на основании закона достаточного основания и свойства доказательности достоверность оценки соответствия рефлектора техническим требованиям основана на суждениях, относительно истинности которых могут быть приведены достаточные основания. Это означает, что основания – истинные суждения – не обязательно должны формулироваться явным образом, но могут лишь подразумеваться, хотя и могут быть всегда выявлены при уточнении формы доказательства доказываемого положения (что подразумевает проведение более обширных экспериментальных исследований и более глубокую проработку конструктивно-технологических решений рефлектора);

– результат оценки соответствия не следует рассматривать как некоторое строгое доказательство того, что объект соответствует, и всегда будет соответствовать установленным требованиям. Демонстрация соответствия может проводиться с разной степенью достоверности и убедительности в зависимости от потребности и возможностей: подчеркивается, что «в межгосударственном стандарте ISO/IEC 17000 не определены границы понятия оценки соответствия. Они остаются гибкими» [1].

На основании этой концепции разработано и практически реализовано методическое обеспечение расчетных оценок прочности, направленное на обеспечение максимально достоверных выводов относительно соответствия рефлектора техническим требованиям с учетом информационной обеспеченности физико-механических свойств конструкционных материалов и степени проработанности конструктивных и технологических решений. Практическая реализация этих оценок дает возможность заменить натурные испытания крупногабаритных элементов конструкций вычислительными экспериментами в том объеме, в которой отдельные физико-технические факторы могут быть смоделированы численно с учетом естественных ограничений на имеющиеся вычислительные ресурсы (доступные объемы оперативной памяти, дискового пространства и процессорного времени).

Модульное построение конструкции рефлектора позволяет в качестве объектов соответствия рассматривать сегменты зеркала и зеркало в целом, стержневой каркас, ступицу, и всю конструкцию в сборе.

Определение характеристик напряженно-деформированного состояния (НДС) для оценки и подтверждения прочности выполнено для следующих внешних воздействующих факторов:

- воздушный поток скоростью 50 м/с;
- синусоидальная вибрация;
- акустический шум;
- механический удар одиночного действия;
- механический удар многократного действия.

В силу значительных габаритов и массы рефлектора необходим учет влияния его собственного веса на распределение напряжений и деформаций. Это сделало необходимым предварительный статический анализ и определение собственного НДС конструкции. На его базе осуществляется постановка и решение задач для всех внешних воздействий (рис. 1).



Рис. 1. Логико-информационные взаимосвязи задач расчетного анализа

Эксплуатация рефлектора возможна в широком диапазоне его пространственных положений. При обосновании расчетных случаев нагружения рассматривались два варианта набора пространственных положений. Первый из них (анализ воздействия акустического шума, синусоидальной вибрации, механического удара одиночного и многократного действия) содержит следующие положения рефлектора: *a* – фокальная ось направлена в горизонт и параллельна земной поверхности; *b* – фокальная ось наклонена под углом  $45^\circ$  по отношению к земной поверхности; *в* – фокальная ось направлена в зенит, угол между фокальной осью и земной поверхностью составляет  $90^\circ$  (рис. 2).

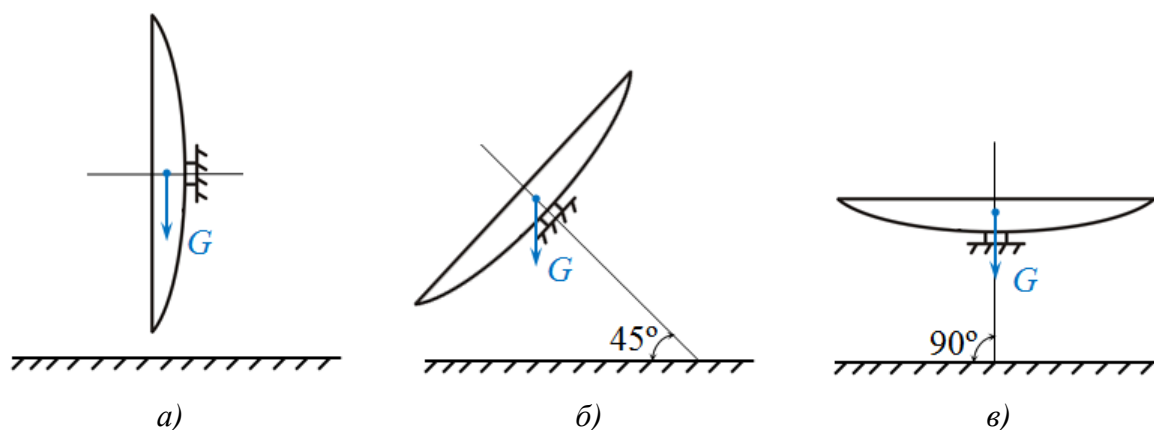


Рис. 2. Пространственные положения рефлектора

Второй набор пространственных положений (анализ воздействия воздушного потока) определен с учетом наиболее неблагоприятных в аэродинамическом отношении условий нагружения: *a* – фокальная ось направлена в горизонт и параллельна земной поверхности, угол между фокальной осью и вектором скорости воздушного потока составляет  $0^\circ$ ; *b* – фокальная ось наклонена под углом  $60^\circ$  по отношению к земной поверхности, угол между фокальной осью и вектором скорости воздушного потока составляет  $60^\circ$  (наклон рефлектора в вертикальной плоскости); *в* – фокальная ось направлена в горизонт и параллельна земной поверхности, угол между фокальной осью и вектором скорости воздушного потока составляет  $60^\circ$  (поворот рефлектора в горизонтальной плоскости).

Нормативные документы содержат требования о необходимости анализа при действии внешних воздействующих факторов по нескольким направлениям (как правило, трем, соответствующим осям декартовой системы координат). Комбинации этих направлений действия внешних воздействующих факторов и пространственных положений рефлектора позволили сформировать множество расчетных случаев нагружения (от трех до девяти) для каждой задачи в соответствии с рис. 1.

Рассмотрим далее особенности постановки и решения отдельных задач в соответствии с рис. 1.

При анализе воздействия воздушного потока определяются максимальные напряжения в элементах конструкции рефлектора.

При анализе действия синусоидальной вибрации и акустического шума выполняется определение и анализ установившегося отклика в заданном частотном диапазоне. Основной результат – частоты, соответствующие максимальному отклику линейной механической системы, а также напряжения в конструкции при этих частотах гармонических воздействий.

При анализе реакции конструкции на механический удар одиночного и многократного действия осуществляется анализ переходных процессов путем решения уравнений динамики интегрированием по времени и поиском равновесия в каждый момент

времени (методический подход неявной динамики). Основным результатом являются максимальные напряжения в функции времени за интервал, определяемый длительностью действия ударного ускорения и скоростью распространения ударной волны в элементах конструкции. Особенностью решения задач для механического удара многократного действия является то, что выполняется анализ распространения, отражения, взаимодействия и затухания волн напряжений, вызванных последовательным приложением ударного импульса.

В результате итоговой проверки и процедуры подтверждения соответствия сделаны следующие выводы.

Проведенные испытания при различных пространственных положениях рефлектора показали его полное соответствие техническим требованиям по условиям прочности.

Наибольшие напряжения в элементах рефлектора возникают при воздействии воздушного потока и механического удара одиночного действия. При воздействии воздушного потока максимальные напряжения в элементах зеркала, каркаса и ступицы составляют соответственно 40,0; 66,6; 126,5 МПа. При воздействии механического удара одиночного действия соответствующие значения напряжений составляют 84,6; 66,1; 131,9 МПа. Эти значения не превышают прочностных характеристик материалов зеркала, ступицы (654,76 МПа) и каркаса (802,98 МПа). Нагружающее действие синусоидальной вибрации выражается в значительно меньших максимумах напряжений (8,1 МПа). Влияние акустического шума оказывается пренебрежимо малым. Это объясняется рассогласованностью частот собственных колебаний (основные моды имеют собственные частоты до 50 Гц) и действующих нагрузок (диапазон от 50 Гц).

Полученные результаты справедливы на доказательной базе, опирающейся на выполненный объем экспериментальных исследований физико-механических характеристик конструкционных материалов и достигнутый уровень проработки конструкторско-технологических решений и детализации геометрических моделей рефлектора.

### Литература

1. ГОСТ ISO/IEC 17000-2012. Оценка соответствия. Словарь и общие принципы. М. : Стандартиформ, 2014.
2. Горский Д.П., Таванец П.В. Логика. М. : Политиздат, 1956. 280 с.
3. Кириллов В.И., Старченко А.А. Логика. М. : Высшая школа 1982. 264 с.