

УДК 681.2

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ И НОМОГРАММНОГО МЕТОДА
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СТАТИЧЕСКИХ
НЕОПРЕДЕЛИМЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

В.С. Дмитриев, Т.Г. Костюченко, Ю.Н. Баженова,
В.В. Теплоухов

Томский политехнический университет

E-mail: yuliabazh@mail.ru

С использованием метода конечных элементов и номограммного метода изучены зависимости собственных частот и перемещений от сечения силовых элементов основания мобильного лидара, конфигурации и размеров. Показано, что частотный анализ позволяет уже на начальной стадии проектирования оценить спектр собственных частот конструкции и проводить целенаправленную оптимизацию конструктивных параметров изделия.

Ключевые слова:

Метод конечных элементов, частотный анализ, основание лидара, собственная частота

Key words:

Finite element method, frequency analysis, lidar ground, eigenfrequency

В различных областях науки и техники всегда уделялось большое внимание проблеме создания конструкций с наилучшими или заранее требуемыми техническими и эксплуатационными характеристиками. Особенно остро стоит вопрос в области определения рабочих динамических режимов в конструкциях в процессе их эксплуатации. Поэтому при проектировании элементов конструкций различной геометрической конфигурации необходимо применение современных методов расчета технических параметров проектируемого изделия, таких как частота, амплитуда деформации, формы изгиба и т. п.

Другая сторона этой проблемы заключается в том, что создание конструкции с «чистого листа» ставит перед конструктором задачу выполнения эксплуатационных параметров в заранее заданном числовом диапазоне, определить который в самом начале этапа проектирования порою невозможно, т. к. для этого необходимо для принятой рабочей схемы устройства провести сложные расчеты. Для проведения таких расчетов, даже с применением новейших программных продуктов, часто требуется значительное время для создания модели конструкции различной

Дмитриев Виктор Степанович, д-р техн. наук, профессор кафедры точного приборостроения Института неразрушающего контроля ТПУ.

E-mail: dmitriev@tpu.ru.

Область научных интересов: разработка

электромеханических устройств космического назначения, CAD/CAM/CAE системы для электромеханических устройств и др.

Костюченко Тамара Георгиевна, канд. техн. наук, доцент кафедры точного приборостроения Института неразрушающего контроля ТПУ.

E-mail: ktg@tpu.ru.

Область научных интересов: разработка САПР, CAD/CAM/CAE системы для электромеханических устройств, прочностной анализ конструкций.

Баженова Юлия Николаевна, магистрант кафедры точного приборостроения Института неразрушающего контроля ТПУ.

E-mail: yuliabazh@mail.ru

Область научных интересов: CAD/CAM/CAE системы, проектирование электромеханических устройств.

Теплоухов Владимир Владимирович, аспирант кафедры точного приборостроения Института неразрушающего контроля ТПУ.

E-mail: dmitriev@tpu.ru

Область научных интересов: разработка электромеханических устройств.

геометрической конфигурации, которая в абсолютном большинстве случаев является статически неопределимой механической системой. Так как во многих случаях приборы и устройства различного назначения в условиях эксплуатации работают в вибрационном режиме, надо знать параметры динамического режима, чтобы избежать ситуации, когда собственная частота конструкции совпадает с частотой вынужденных колебаний.

Используемые для зондирования атмосферы лидары применяют как в стационарном, так и в автомобильном вариантах. Лидар всегда устанавливается на основании определенной конструктивной конфигурации, имеющую свои собственные механические характеристики (резонансные частоты, жесткость и прочность). Поэтому в рабочих режимах лидара из-за переменных внешних механических воздействий существуют проблемы динамического характера, влияющие на точность его наведения.

При внешних переменных воздействиях практически во всех конструкциях возникают вибрационные режимы, как в отдельных узлах, так и в целом в конструкции. При неблагоприятных условиях могут возникнуть деформации различной величины, ведущие к потере точности, а в общем случае вызвать смещение узлов и в пределе – усталостные разрушения конструкции.

Механическая система «излучатель лидара – основание лидара – автомобиль» в рабочем режиме испытывает вибрационные механические воздействия со стороны работающего на холостом ходу двигателя автомобиля, который служит генератором электропитания связанных с лидаром систем (навигационной, телевизионной, газоанализа, метеосистемы, информационной).

Вибрации и колебания корпуса автомобиля приводят к изменению положения и размытости светового пятна лазерного излучения на зондируемом объекте как за счет разъюстировки оптического тракта, так и за счет колебаний зеркал системы наведения.

Динамика рабочего режима лидара описана в [1]. В Институте оптики атмосферы СО РАН, г. Томск, для оценки параметров вибрации проводились экспериментальные исследования колебаний лидара, установленного на автобусе ПАЗ 3205, результаты которых также приведены в [1].

Создание конструкции основания лидара на основе математического расчета и анализа влияния внешних воздействий на лидар в рабочем режиме позволит избежать негативных последствий этих воздействий при его эксплуатации.

Для решения указанной технической проблемы при эксплуатации мобильного варианта лидара использован номограммный метод расчета вибрационных параметров основания лидара в комплексе с методом конечных элементов.

Частотный анализ позволяет уже на начальной стадии проектирования оценить спектр собственных частот конструкции и проводить целенаправленную оптимизацию конструктивных параметров с целью достижения условий частотной виброустойчивости. При этом формы колебаний представляют собой относительные амплитуды перемещений конструкции в узлах конечно-элементной сетки. По ним виден характер перемещения элементов конструкции на собственной частоте колебаний [2]. Применение МКЭ на ранней стадии проектирования предоставляет возможность устранить резонансные явления при эксплуатации приборов разведением спектра собственных частот конструкции и частот вынужденных колебаний.

Статический анализ позволяет оценить жесткость через рассчитанные значения перемещений при задании необходимых нагрузок на элементы конструкции.

Базовая конструкция основания лидара имеет конфигурацию замкнутой по кругу фермы (рис. 1).

Суть предлагаемой методики заключается в следующем. За целевые функции взяты собственные частоты и жесткость конструкции основания. В процессе расчета определяется их изменение в зависимости от вариации размеров и конфигурации основания (сечение и длина стоек, количество секций, диаметр основания).



Рис. 1. Макет основания лидара

В среде T-Flex CAD были построены 3D модели трех модификаций основания, состоящие из одной, двух и трех секций (рис. 2).

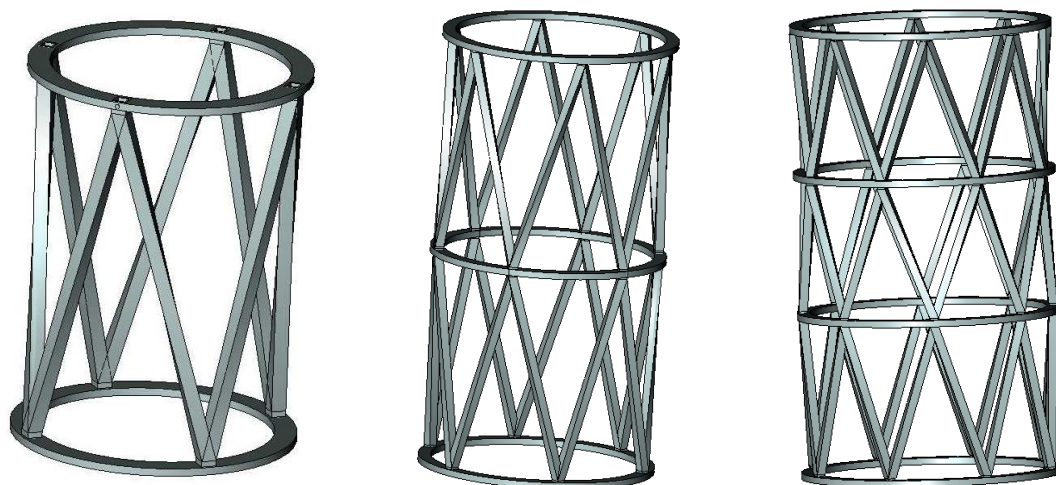


Рис. 2. Модификации 3D моделей основания лидара

В каждой модификации изменялись количество стоек, размеры их сечения, диаметр основания в различных сочетаниях.

Расчет собственных частот и перемещений методом конечных элементов проводился в среде T-Flex Анализ.

На рис. 3 приведен фрагмент корпуса с наложенной расчетной сеткой.

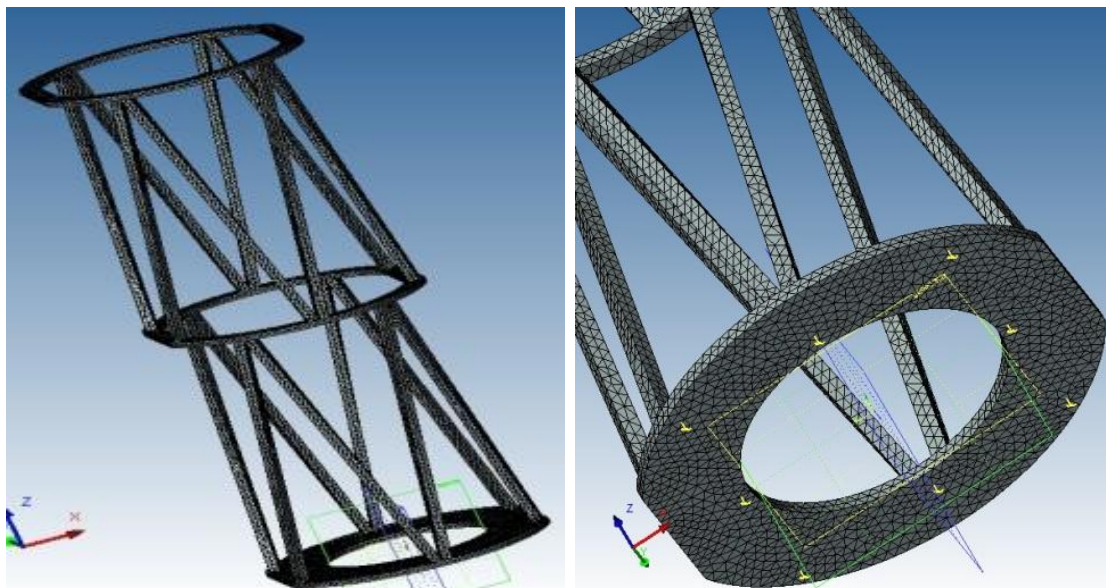


Рис. 3. Конструкция корпуса лидара с конечно-элементной сеткой

Как пример, в табл. 1 приведены результаты расчета собственных частот для шестистоечной конструкции, а в табл. 2 – результаты статического анализа для этой же конструкции основания.

Таблица 1. Расчет собственных частот для шестистоечной конструкции

Сечение стоек, мм	Диаметр основания, мм	Количество секций	Частота, Гц
7×7	150	1	239,51
		2	240,33
		3	253,22
7×7	200	1	222,85
		2	226,77
		3	236,94
7×7	600	1	216,81
		2	224,38
		3	232,84
10×10	150	1	240,47
		2	242,27
		3	262,64
10×10	200	1	234,41
		2	236,28
		3	255,47
10×10	600	1	220,22
		2	226,47
		3	234,64
14×14	150	1	242,79
		2	243,76
		3	274,21
14×14	200	1	240,51
		2	241,87
		3	267,91
14×14	600	1	226,71
		2	230,20
		3	236,12

Таблица 2. Расчет перемещений для шестистоечной конструкции

Сечение стоек, мм	Диаметр основания, мм	Количество секций	Величина перемещения, мкм
7×7	150	1	33,41
		2	32,00
		3	30,58
7×7	200	1	44,90
		2	44,42
		3	43,20
7×7	600	1	84,12
		2	84,00
		3	83,41
10×10	150	1	31,00
		2	30,20
		3	25,1
10×10	200	1	41,22
		2	40,00
		3	37,44
10×10	600	1	70,47
		2	70,12
		3	70,00
14×14	150	1	29,41
		2	26,31
		3	20,70
14×14	200	1	26,90
		2	25,64
		3	21,12
14×14	600	1	70,42
		2	69,12
		3	65,77

По результатам анализа построены номограммы, показывающие:

- зависимость величины деформации основания лидера от размеров основания, сечения укосин и количества секций при нагрузке в 1 кг;
- зависимость собственной частоты основания от размеров основания, сечения укосин и количества секций.

На рис. 4 – пример номограммы для одного из вариантов конфигурации основания – шестистоечной конструкции с размерами сечения 10×10 мм. Выделенные на графиках точки соответствуют рассматриваемым значениям диаметра основания – 150, 200 и 600 мм.

На первоначальном этапе проектирования лидера использование номограмм позволяет технически обоснованно выбрать первоначальный вариант конструкции с конкретными размерами элементов основания.

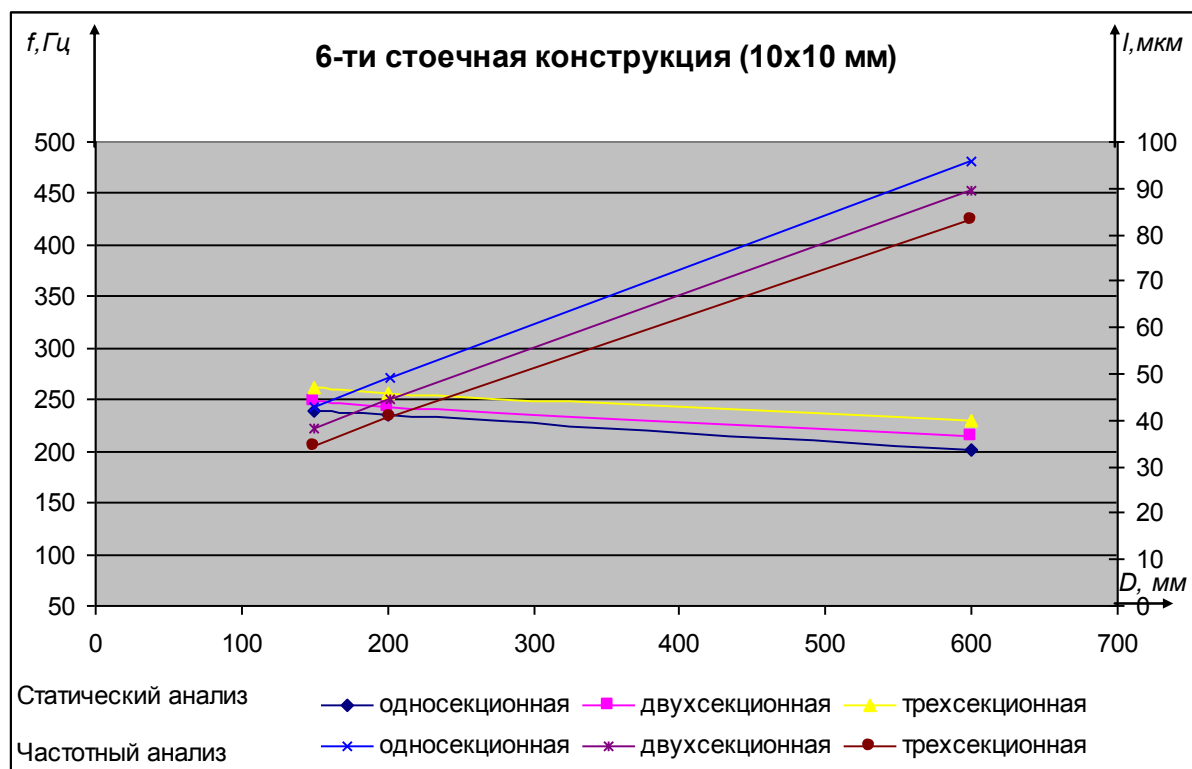


Рис. 4. Номограммы для 6-ти стоечной конструкции, сечение стоек 10×10 мм

Результаты частотного и статического анализа подтверждены экспериментально на установках (рис. 5) для проведения модального и статического анализа в Научно-производственном центре «Полюс», г. Томск. Эксперимент показал хорошую сходимость расчетных и экспериментальных данных.



Рис. 5. Установки

Выводы

По результатам статического анализа можно говорить о том, что с увеличением диаметра замкнутой рамной конструкции основания лидара деформация ее при одной той же нагрузке увеличивается, причем увеличение практически линейное. При увеличении количества секций деформация конструкции уменьшается.

Частотный анализ показывает, что с увеличением диаметра основания собственная частота конструкции основания уменьшается, с увеличением сечения стоек и с увеличением количества укосин собственная частота увеличивается.

Проведенное аналитическое исследование показало значительный разброс значений собственных частот (163...293 Гц) в зависимости от сечения силовых элементов, конфигурации и размеров основания. Фактический диапазон частот внешнего механического воздействия составляет 20...70 Гц, т. е. наличие существенный запас по разделению частот собственных и вынужденных колебаний.

При установке лидара на основание масса конструкции увеличится и в определенной степени понизит частотный диапазон механической системы «лидар-основание», поэтому имеющийся запас является гарантией отсутствия совпадения собственных частот в целом всей конструкции и вынуждающей силы, генератором которой является двигатель автомобиля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриев В.С., Костюченко Т.Г., Янгулов В.С., В.В. Теплоухов. Мобильные лидары. Влияние внешних механических воздействий на точность прицеливания лидара // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 311. – № 2. – С. 30–33.
2. Суших А. Расчет собственных частот и форм колебаний конструкций в среде T-FLEX Анализ // САПР и графика. – 2004. – № 11. – С. 52–56.

Поступила 31.10.2011 г.