



«2-й Московский международный симпозиум метрологов»

**СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ СИЛ И МОМЕНТОВ
ДЛЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В
УСТАНОВКАХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ
БАЗЫ ЦНИИМАШ**

В.А. Козловский, В.И. Лагутин,
В.И. Лапыгин, Е.В. Маколкин

Содержание

1 Введение

2 Аэродинамические тензovesы (ТВ)

- основные задачи (объекты испытаний),
- основные задачи (этапы работ)
- типы тензovesов: - трубчатые,
 - стержневые,
 - комбинированные,
 - многоопорные

3 Механизмы свободных колебаний (МСК)

4 Заключение

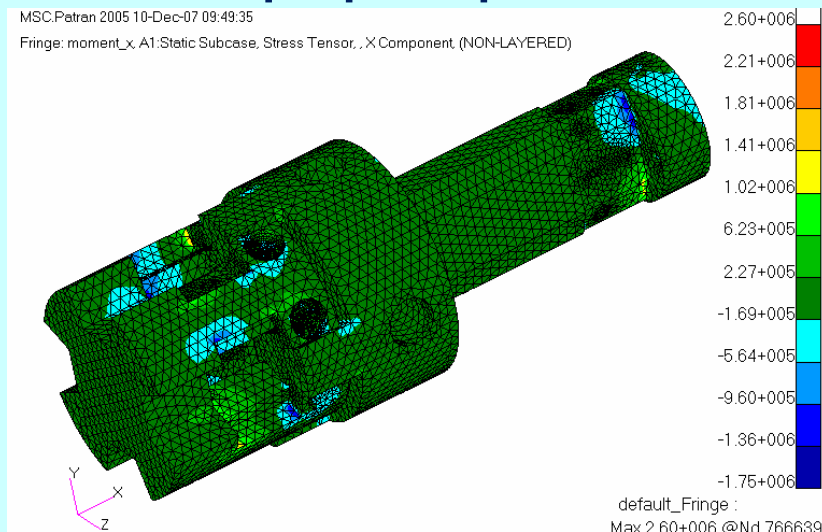
Задачи (объекты испытаний)

- ❖ корпуса ракет-носителей
- ❖ отделяемые части ракет (боковые блоки, обтекатели...)
- ❖ спускаемые аппараты («Союз», «Марс»...)
- ❖ летательные аппараты типа «несущий корпус» («Клипер»)
- ❖ крылатые летательные аппараты
- ❖ аэродинамические органы управления
- ❖ аппараты со струями двигательных установок
- ❖ крупногабаритные макеты
- ❖ спец.испытания: модели с уносом теплозащитного покрытия, испытания при импульсном нагружении и т.п.

Основные этапы работ

- ❖ отработка современных технологий проектирования на основе САПР высокого уровня с привлечением результатов численного анализа напряженного состояния ТВ при различных вариантах эксплуатационных нагрузений;
- ❖ разработка и освоение типовых технологических процессов изготовления упругих элементов ТВ с использованием современных высокоточных станков с ЧПУ;
- ❖ создание новых типоразмеров специализированных тензорезистивных преобразователей;
- ❖ разработка методического, метрологического и нормативно-технического обеспечения аэрогазодинамических силовомоментных измерений;
- ❖ проектирование, изготовление и испытания головных образцов типовых ТВ.

Верификация мат.моделей напряженно-деформированного состояния корпуса ТВ



- ❖ разработаны 3D модели ТВ с типовыми конструкциями упругих измерительных элементов, проведено математическое моделирование напряженно-деформированного состояния их корпусов под действием измеряемых нагрузок;
- ❖ разработаны, изготовлены, смонтированы и отлажены лабораторные образцы ТВ;
- ❖ проведены испытания ТВ, измерены параметры напряженного состояния в характерных точках корпусов ТВ;
- ❖ проведены сравнение и анализ результатов расчетов и измерений, сделан вывод об адекватности используемых мат.моделей в пределах погрешности ~ 15%;
- ❖ выполненные исследования создали надежную основу для дальнейших разработок ТВ

Нормативно-техническое и метрологическое обеспечение



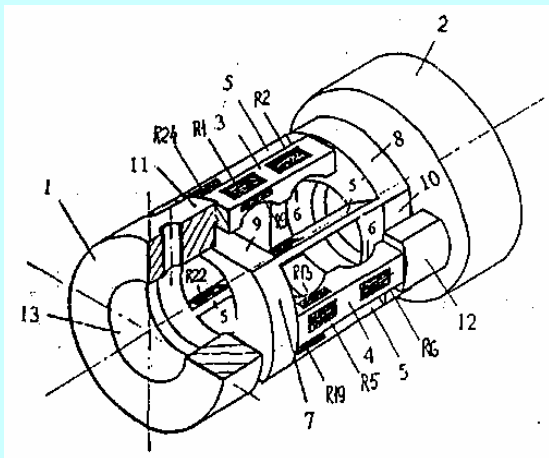
Автоматизированный градуировочный
стенд для метрологической отработки
тензовесов класса точности 0,05...0,1

- ❖ разработан нормативный документ ОСТ134–1043–2007 «Весы тензометрические. Общие технические условия», разработан комплекс руководящих документов по методикам применения ТВ и их испытаний с целью определения метрологических характеристик, в том числе в условиях аэродинамического эксперимента.

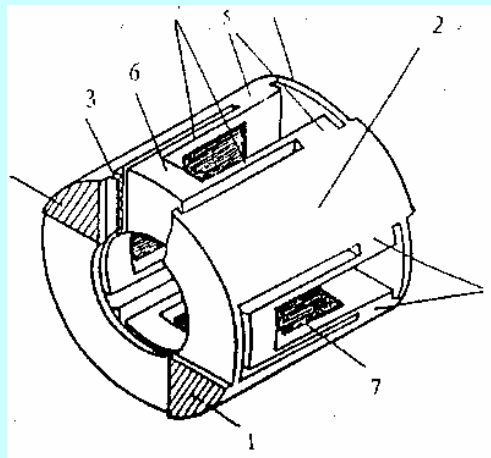
- ❖ проводится подготовка материалов для регистрации разработанных типов ТВ в Государственном реестре средств измерения.

- ❖ разработаны технические предложения по поставке современного автоматизированного градуировочного стенда для метрологической отработки ТВ класса точности 0,05...0,1, использование которого обеспечит существенное (около 20 раз) сокращение времени полного цикла градуировки и значительное повышение точности испытаний за счет возможности индивидуальной метрологической подготовки ТВ к каждой серии испытаний или к каждому испытанию

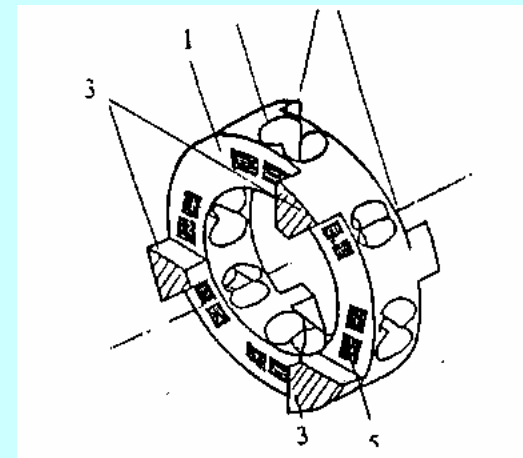
Тензовесы трубчатого типа



Пятикомпонентный динамометр поперечных сил, изгибающих и крутящего моментов



Динамометр продольной силы с встроенным чувствительным элементом



Динамометр продольной силы с упругими балками переменного сечения

Особенности конструкции:

- ❖ высокая точность и технологичность при изготовлении на вырезных электроэрозионных станках,
- ❖ короткие сроки и низкая стоимость изготовления,
- ❖ компактность (длина шестикомпонентного динамометрического блока до 2-х калибров),
- ❖ удобство эксплуатации: возможность использования внутреннего канала для размещения трубопроводов, проводов и т.п.

Трубчатые шестикомпонентные тензовесы для измерения аэродинамических нагрузок на моделях ракет-носителей

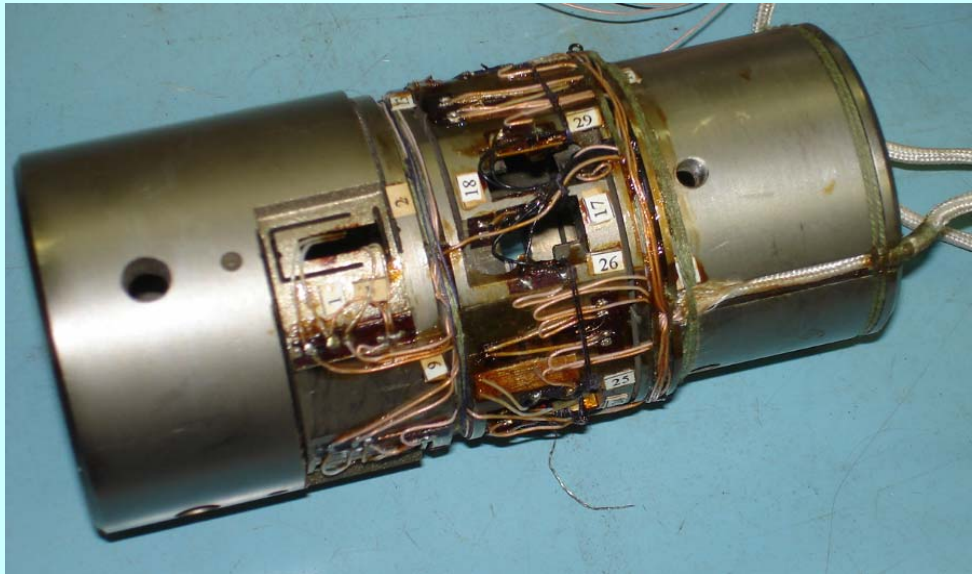


Диаметр ТВ (наружный)... .. 18... 50мм
Диаметр ТВ (внутренний).....
..8...20мм
Измерительный диапазон по компонен-
там силы X,Y,Z.....20...400кг
Измерительный диапазон по компонен-
там момента M_x, M_y, M_z0.1...15 кгм

Отличительные особенности ТВ :

- ❖ специфическое для ракет-носителей сочетание величин измеряемых компонентов силы и момента,
- ❖ компактность динамометрического блока, обеспечивающая его размещение внутри модели как в центральном, так и в боковых блоках

Трубчатые шестикомпонентные тензovesы для испытаний моделей со струями двигательных установок

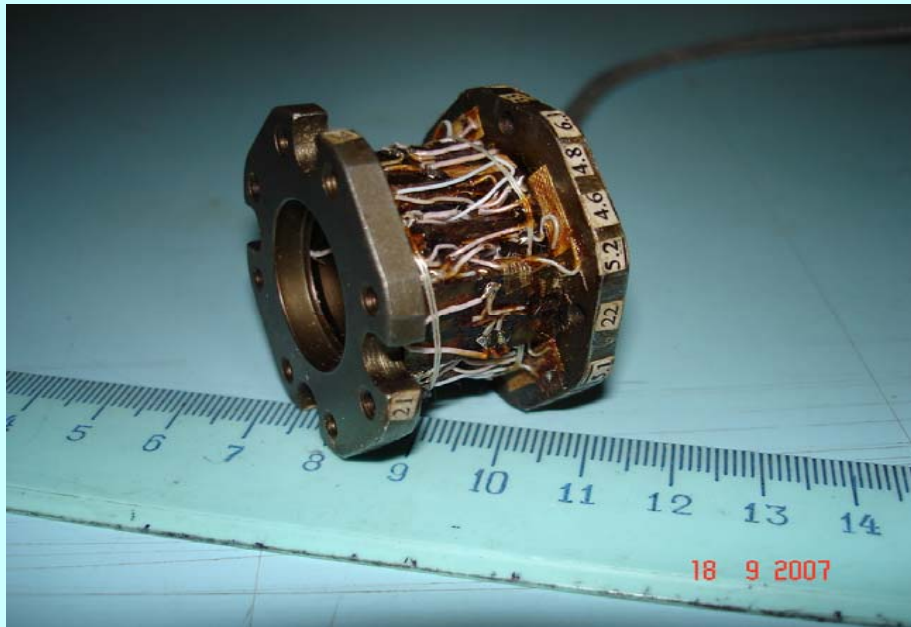


Диаметр ТВ (наружный).....	40...60мм
Диаметр ТВ (внутренний).....	20...40мм
Измерительный диапазон по компонентам силы X,Y, Z.....	50...500 кг
Измерительный диапазон по компонентам момента M_x, M_y, M_z	0,1...15кгм

Отличительные особенности ТВ :

- ❖ компактность конструкции, обеспечившая размещение ТВ внутри модели в виде тела малого удлинения,
- ❖ возможность размещения трубопроводов системы моделирования струй двигателей управления, торможения и посадки испытываемого объекта.

Трубчатые пятикомпонентные тензovesы для измерения нагрузок на аэродинамических органах управления



Диаметр ТВ (наружный).....30...60мм
Диаметр ТВ (внутренний).....15...30мм
Измерительный диапазон по компонентам силы
Y,Z 10...60кг
Измерительный диапазон по компонентам
момента M_x, M_y, M_z 0,1...1 кгм

Отличительные особенности ТВ :

- ❖ характерное для органов управления сочетание величин измеряемых компонентов нагрузки,
- ❖ компактная компоновка,
- ❖ возможность установки исследуемых объектов в требуемых угловых положениях

Трубчатые шестикомпонентные тензovesы для измерения аэродинамических нагрузок на моделях спускаемых аппаратов типа «Союз», «Марс»



Диаметр ТВ (наружный).....	20...30 мм
Измерительный диапазон по компонентам силы X, Y, Z.....	80...150 кг
Измерительный диапазон по компонентам момента M_x, M_y, M_z	0.3...3 кгм
Диапазон углов атаки.....	$\pm 45^\circ$

Отличительные особенности ТВ :

- ❖ специфическое для спускаемых аппаратов сочетание измеряемых компонентов силы и момента,
- ❖ компактность измерительного блока, обеспечивающая его размещение внутри моделей в виде тел малого удлинения,
- ❖ расширенный диапазон исследуемых углов атаки модели.

Тензovesы стержневого типа



Особенности конструкции:

- ❖ моноблок высокой жесткости,
- ❖ повышенная несущая способность при ограниченных поперечных размерах

Тензovesы стержневого типа для испытаний моделей крылатых летательных аппаратов

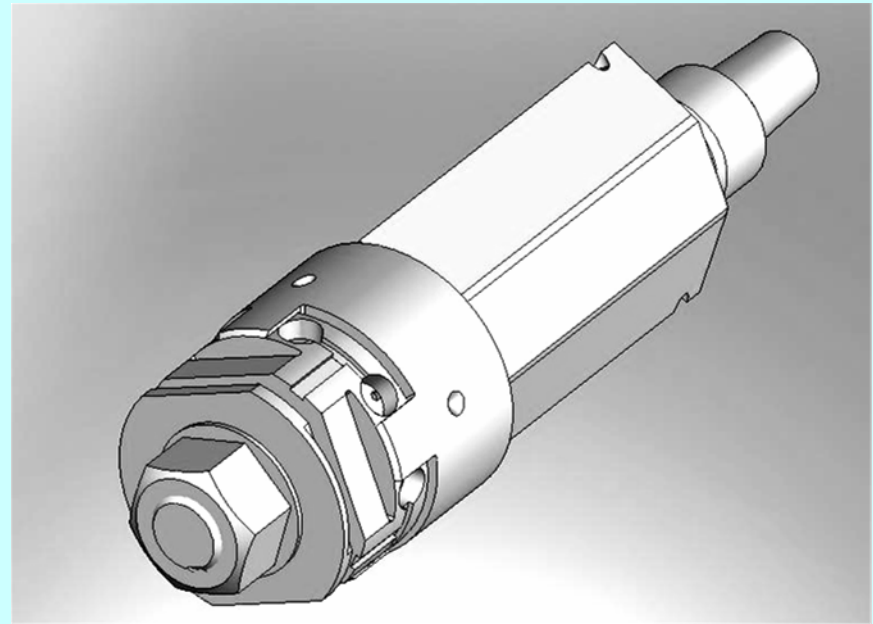
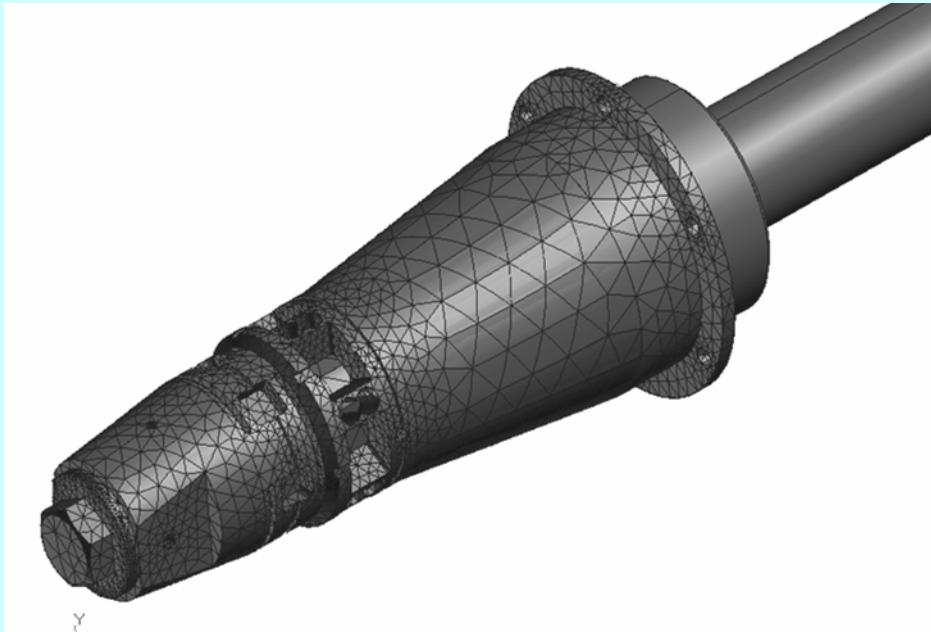


Диаметр ТВ	20-70 мм
Измерительный диапазон по компонентам силы X,Y,Z.....	10...1000 кг
Измерительный диапазон по компонентам момента M_x, M_y, M_z	0,2...70кгм

Отличительные особенности ТВ :

- ❖ характерное для крылатых ЛА сочетание величин измеряемых компонентов нагрузки (малая величина продольной силы и большая—нормальной),
- ❖ повышенная несущая способность при ограниченных поперечных размерах.

Тензovesы комбинированного типа



Особенности конструкции:

- ❖ комбинация тензovesов трубчатого и стержневого типов,
- ❖ хорошая технологичность,
- ❖ повышенные жесткость и несущая способность,
- ❖ хорошая адаптация к особенностям формы испытываемых моделей

Тензovesы комбинированного типа для измерения аэрогазодинамических нагрузок на моделях при уносе с их поверхности теплозащитного покрытия

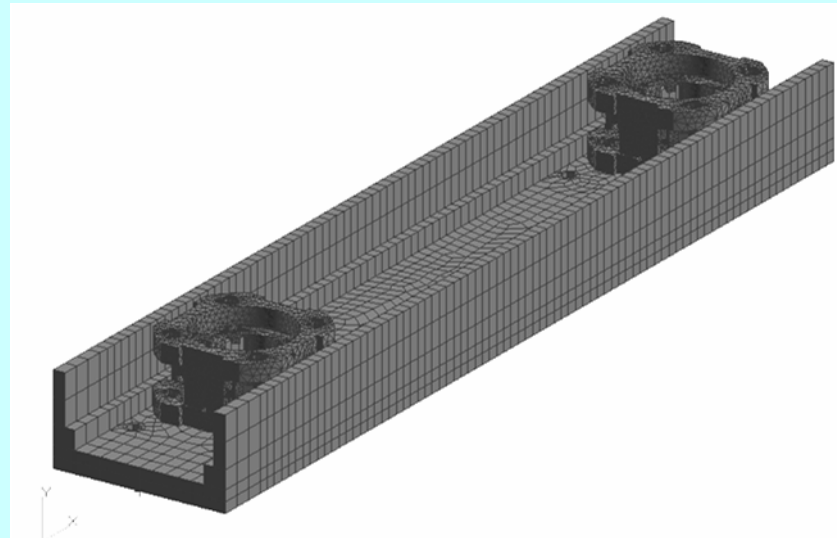
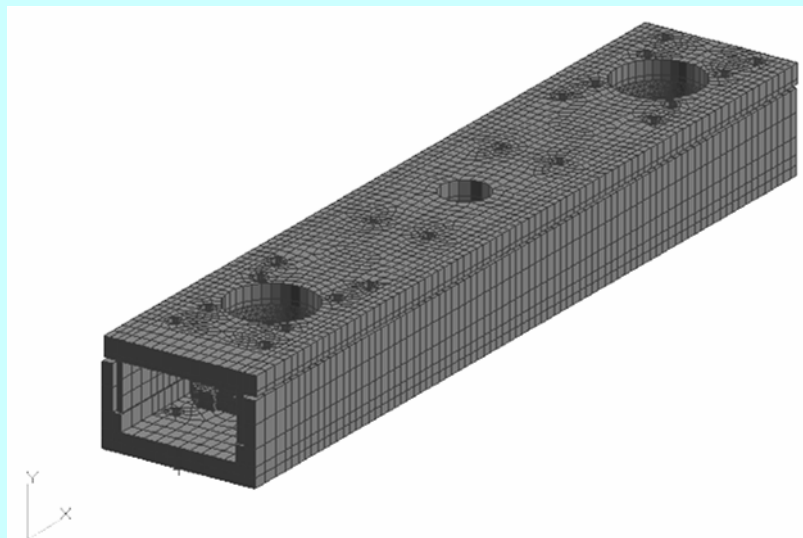


Посадочный диаметр	106мм
Длина ТВ.....	750мм
Измерительный диапазон по компонентам силы X,Y,Z, соответственно,.....	3500, 500 и 500кг
Измерительный диапазон по компонентам момента M_x, M_y, M_z , соответственно,.....	3, 50 и 50кгм

Отличительные особенности ТВ :

- ❖ за счет интегрированной структуры ТВ и испытываемой модели с теплозащитным покрытием обеспечена работоспособность сило-измерительной системы при испытаниях в установках с электродуговым нагревом рабочего газа (температура потока более 3500°C),
- ❖ обеспечена высокая чувствительность компонента M_x

Тензovesы многоопорные



Особенности конструкции:

- ❖ распределение измеряемой нагрузки по двум и более динамометрическим опорам,
- ❖ применение сборных конструкций,
- ❖ повышенная несущая способность

Тензovesы платформенного типа

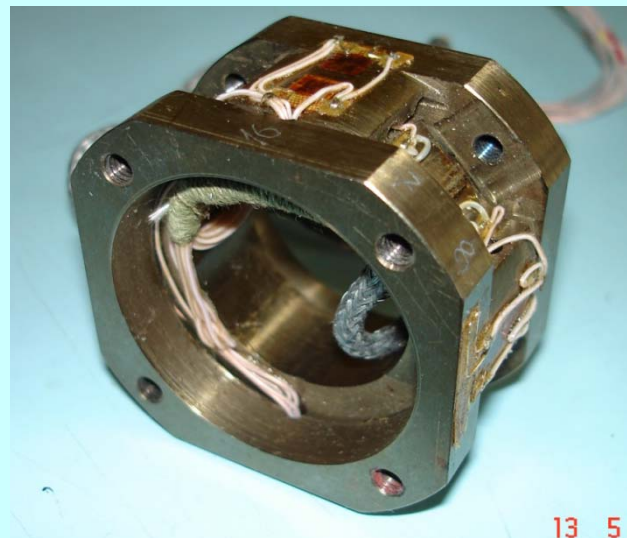
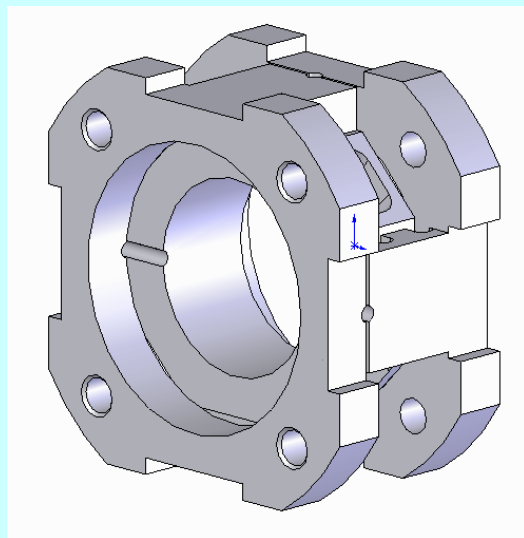


Габариты (Д×Ш×В): 420×80×50 мм

Измерительный диапазон по компонентам силы X, Y, Z400...800кг

Измерительный диапазон по компонентам момента M_x, M_y, M_z ... 10...100кгм

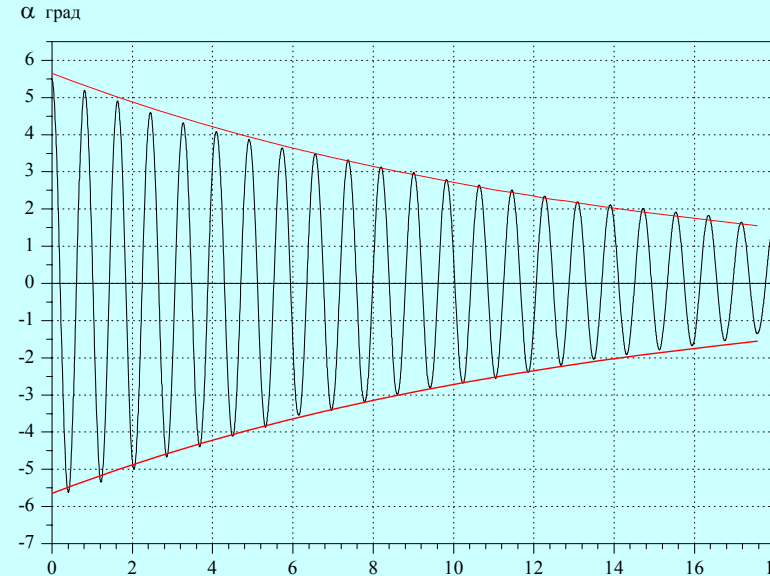
Силоизмерительные опоры тензовесов



13 5 2

Габариты (Д×Ш×В)..... 70×70×40 мм
Измерительный диапазон по компонентам силы X,Y,Z.....200, 400,
500кг
Измерительный диапазон по моменту M_x4, 7, 10кгм

Метод свободных колебаний



Испытываемая модель шарнирно установлена в потоке аэродинамической трубы

$$m_z^{\omega_z} = \frac{2I_z V_\infty}{SL^2 q_\infty} \delta \quad - \quad \text{коэффициент демпфирующего продольного момента,}$$

I_z , L , S – момент инерции, длина, площадь поперечного сечения модели,

V_∞ , q_∞ – скорость, скоростной напор набегающего потока,

δ – коэффициент затухания амплитуды угловых колебаний испытываемой модели

Механизмы свободных колебаний



Особенности конструкций:

- ❖ обеспечены свободные угловые движения модели с амплитудой до $\pm 20^\circ$
- ❖ обеспечена бесконтактная регистрация мгновенных угловых положений модели
- ❖ обеспечен многократный пуск модели с заданного начального угла
- ❖ обеспечены испытания моделей диаметром до 70, 150 и 400мм (нагрузки до 500кг)
- ❖ обеспечены измерения аэродинамических нагрузок при угловых колебаниях модели

Заключение

- ❖ на основе современных технологий создан комплекс нового поколения средств измерения стационарных и нестационарных аэрогазодинамических сил и моментов, специализированных для различных задач наземной отработки аэрогазодинамики летательных аппаратов в установках и стендах экспериментальной базы ЦНИИмаш;
- ❖ разработаны основные руководящие документы методического и нормативно-технического обеспечения измерений аэрогазодинамических сил и моментов;
- ❖ созданные образцы средств измерения использованы при отработке аэрогазодинамики модернизируемых и разрабатываемых объектов аэрокосмической техники ведущих ОКБ России.