

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР
КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА

**КОСОЗАДЕЛАННЫЙ КЕССОН.
СТАБИЛИЗАТОР.
ШАССИ**

КУЙБЫШЕВ 1984

Министерство высшего и среднего специального
образования РСФСР

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева

КОСОЗАДЕЛАННЫЙ КЕССОН.
СТАБИЛИЗАТОР. ШАССИ

Утверждено
редакционно-издательским
советом института
в качестве методических
указаний
к лабораторным работам
по курсу "Расчет самолета
на прочность"

Куйбышев 1984

УДК 629.7.02.015.4 + 624.04 (075)

Методические указания содержат описание трех учебных лабораторных установок для исследования работы шасси, стабилизатора и косоададеланного кессона. Приводится подробное описание объектов исследования. Дается методика измерения деформаций, перемещений, усилий и давления. Подробно описывается порядок выполнения экспериментов и обработки полученных результатов. Для закрепления изучаемого материала приведены контрольные вопросы к каждой лабораторной работе.

Рецензенты: доцент, к.т.н. С е н и ц к и й Ю.Э.,
доцент, к.т.н. Ю м а ш е в Л.П.

авторы-составители: Мехеда Виллий Андреевич,
Мостовой Анатолий Соломонович,
Савельев Леонид Макарович

КОСОАДАДЕЛАННЫЙ КЕССОН. СТАБИЛИЗАТОР. ШАССИ

Редактор Л.М.К а р п о в а

Подписано в печать 14.12.84 г. Формат 60x84 I/16.
Бумага оберточная белая. Оперативная печать.
Физ. п.л. 2,25. Усл.п.л. 2,09. Уч.-изд.л. 1,9.
Т. 1000 экз. Заказ 478 Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева,
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Областная тип. им. В.П.Мяги, г. Куйбышев,
ул. Венцека, 60.

I. ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

В процессе статических или динамических испытаний лабораторным установкам сообщаются достаточно большие потенциальные или кинетические энергии. Требуется определенная осторожность при проведении испытаний и обязательное соблюдение следующих правил техники безопасности:

1. Запрещается приступать к испытаниям без разрешения преподавателя.
2. Нельзя превышать заданный уровень нагрузки.
3. Запрещается стоять под установками во время нагружения.
4. Перед испытаниями необходимо тщательно проверить надежность соединений в системе нагружения установки.
5. После проведения испытаний установку необходимо разгрузить.

Силовой пол, к которому крепятся лабораторные установки, имеет мощные металлические шины, являющиеся хорошими проводниками электрического тока. Во избежание поражения электрическим током необходимо:

1. Подсоединять и отключать штепсельные разъемы только при отключенных от сети электроприборах.
2. Не касаться руками оголенных выводов тензорезисторов.
3. Не включать электроприборы в электрическую сеть без разрешения преподавателя.

Лабораторная работа № 9

2. СТАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ КОСОЗАДЕЛАННОГО КЕССОНА НА ИЗГИБ

Ц е л ь р а б о т ы - качественное и количественное исследование эффекта стреловидности в косозаделанном кессоне и сопоставление расчетных напряжений в нем при изгибе с экспериментом.

2.1. Объект исследования

Косозаделанный кессон представляет собой тонкостенную коробчатую конструкцию, моделирующую межлонжеронную часть крыла самолета с углом стреловидности $\chi = 45^\circ$. Он состоит (рис.2.1) из четырех стальных поясов I с площадью поперечного сечения $f = 2,4 \text{ см}^2$ каждый и дюралевой обшивки 2 толщиной $\delta = 1 \text{ мм}$.

Верхняя и нижняя панели обшивки подкреплены продольным стрингерным набором 3. Конструкция включает в себя пять равномерно расположенных диафрагм 4, перпендикулярных оси кессона; помимо них имеется еще одна нервюра 5 в сечении у заделки. Основные размеры отсека даны на рис.2.1.

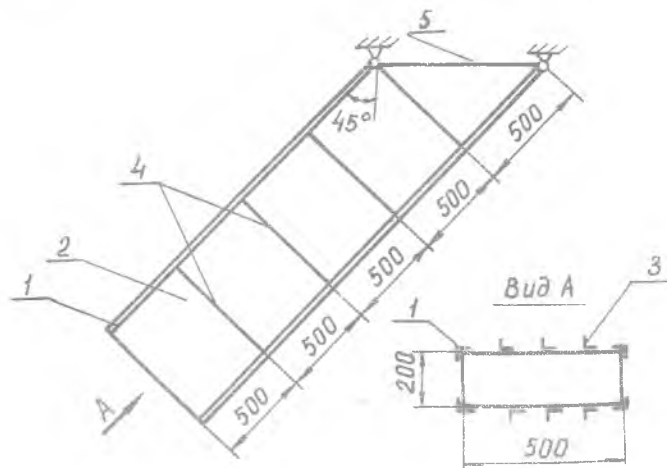


Рис.2.1. Геометрия кессона

2.2. Теоретические положения

Стреловидный кессон представляет собой упругую систему, не подчиняющуюся закону плоского распределения относительных деформаций по сечению. Это означает, что для определения нормальных и касательных напряжений при изгибе такого кессона, вообще говоря, неприменима элементарная (балочная) теория расчета тонкостенных конструкций. Лишь в сечениях, достаточно удаленных от заделки, напряжения можно вычислять по элементарной теории. Что же касается участка кессона вблизи заделки, то здесь сказывается влияние стреловидности. Оно приводит к тому, что усилия в передних (более длинных) поясах уменьшаются, а усилия в задних (более коротких) поясах увеличиваются по сравнению с теми значениями, которые дает балочная теория.

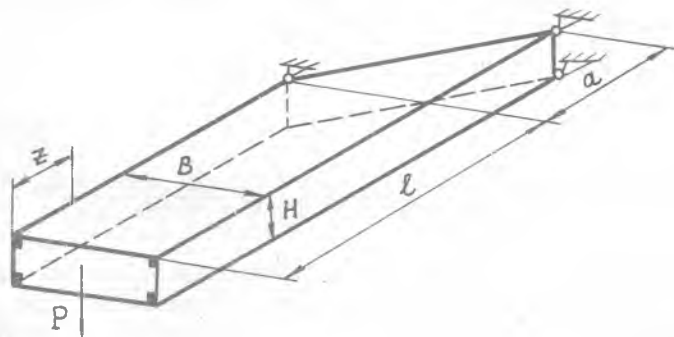


Рис.2.2. Схема нагружения кессона при изгибе

Рассмотрим изгиб кессона поперечной силой P , приложенной на свободном конце (рис.2.2).

Предположим сначала, что верхняя и нижняя панели обшивки отсутствуют и что сила P поровну воспринимается передней и задней стенками кессона, как показано на рис.2.3.

Считая также, что изгибающие моменты воспринимаются лишь поясами, получим следующие значения усилий в них:

$$N_0 = \frac{P}{2H} z \quad (2.1)$$

Касательные усилия в боковых панелях окажутся при этом равными

$$T_c = \frac{P}{2H} \quad (2.2)$$

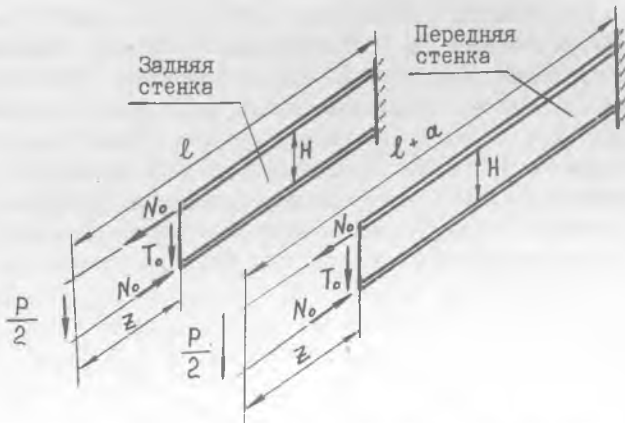


Рис.2.3. Работа конструкции на изгиб при отсутствии верхней и нижней панелей обшивки

Из-за различия в длинах стенок абсолютные удлинения передних и задних поясов будут различаться. Верхний пояс передней стенки будет иметь большее удлинение, а нижний - большее укорочение, чем соответствующие пояса задней стенки. Так как пояса в действительности соединены с верхней и нижней панелями, подобное деформирование будет сопровождаться сдвигом этих панелей. В результате в конструкции возникает дополнительное самоуравновешенное напряженное состояние, показанное на рис.2.4

Здесь через ΔT обозначены касательные усилия, возникающие в верхней и нижней панелях на расстоянии z от свободного края. Такие же по величине касательные усилия возникнут в боковых панелях, что следует из условия равенства нулю крутящего момента в поперечном сечении отсека. Передаваясь от панелей на пояса, усилия ΔT вызывают в них дополнительные осевые усилия, обозначенные на рис.2.4 через ΔN . Значения ΔT и ΔN

связаны между собой следующим уравнением равновесия (см.рис.2.5):

$$\Delta T = \frac{1}{2} \frac{dN}{dz} \quad (2.3)$$

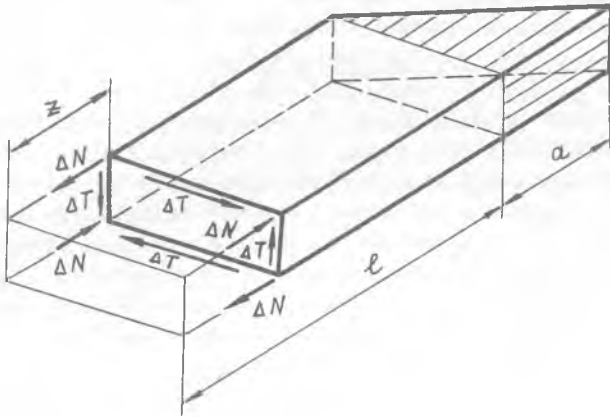


Рис.2.4. Дополнительное самоуравновешенное напряженное состояние в поперечном сечении отсека, вызванное работой на сдвиг верхней и нижней панелей

Что касается прикорневой части обшивки (на рис.2.4 она заштрихована), то здесь будем полагать $\Delta T = 0$. Осевые усилия ΔN в передних поясах следует тогда считать на этом участке постоянными, совпадающими с их значениями при $z = l$.

Таким образом, напряженное состояние стреловидного кессона получается суммированием величин (2.1) и (2.2) с усилиями ΔN и ΔT . Дополнительные силы ΔN в поясах являются статически неопределимыми величинами. Их можно найти из условия минимума потенциальной

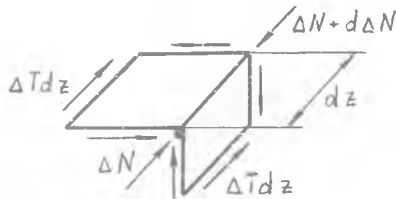


Рис.2.5. Схема сил, действующих на элемент конструкции в дополнительном напряженном состоянии

энергии деформации конструкции. Чтобы учесть работу обшивки на растяжение-сжатие, будем вместо действительных площадей поясов брать приведенные площади, включающие в себя долю примыкающей к ним обшивки.

В основном напряженном состоянии, показанном на рис.2.3, в качестве приведенной площади будем брать величину

$$f_0 = f + \frac{E_0}{E} \left(\frac{B\delta}{2} + \frac{H\delta}{6} \right), \quad (2.4)$$

где f - площадь сечения пояса, E_0 - модуль упругости обшивки, E - модуль упругости пояса, δ - толщина обшивки. Здесь принято, что вместе с поясом работает половина площади сечения горизонтальной панели и $1/6$ площади сечения вертикальной панели; последний результат вытекает из условия равенства моментов инерции действительного сечения панели и эквивалентного ему сечения, образованного двумя сосредоточенными площадями (рис. 2.6). В дополнительном напряженном состоянии, показанном на рис.2.4, приведенную площадь примем равной

$$f_1 = f + \frac{E_0}{E} \left(\frac{B\delta}{6} + \frac{H\delta}{6} \right), \quad (2.5)$$

поскольку здесь и вертикальные, и горизонтальные панели находятся в условиях изгиба. Отметим, что в формулах (2.4) и (2.5) пренебрегается влиянием стрингеров; множитель E_0/E в этих формулах представляет собой редуцированный коэффициент, учитывающий неоднородность материала конструкции (приведение осуществлено к материалу поясов).

В итоге для усилия ΔN можно получить следующее выражение:

$$\Delta N = C \operatorname{sh} k z \quad (z \leq l), \quad (2.6)$$

где

$$k = \sqrt{\frac{8G\delta}{E f_1 (B+H)}}, \quad C = \frac{2l+a}{2H} \frac{\varphi}{1+\varphi} e^{-ke} P,$$

$$\varphi = \frac{ka}{2f_1} \left(f + \frac{E_0 H \delta}{6E} \right), \quad (2.7)$$

G - модуль сдвига материала обшивки.

Напряжения в задних поясах подсчитываются при этом по формуле

$$G = \frac{N_0}{f_0} + \frac{\Delta N}{f_1}, \quad (2.8)$$

а в передних - по формулам

$$G = \frac{N_0}{f_0} - \frac{\Delta N}{f_1} \quad \text{при } z \leq \ell, \quad (2.9)$$

$$G = \frac{N_0}{f_1} - \frac{\Delta N_1}{f_1} \quad \text{при } z > \ell.$$

В последних формулах величина N_0 определяется равенством (2.1), а ΔN_1 представляет собой значение ΔN при $z = \ell$.

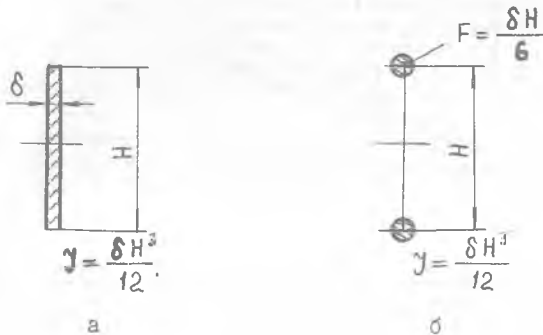


Рис.2.6. Прямоугольное сечение (а) и сечение, эквивалентное ему (б)

Первые слагаемые в формулах (2.8) и (2.9) совпадают с величинами, определяемыми элементарной теорией изгиба, а вторые слагаемые показывают влияние косої заделки на напряжения.

На рис.2.7 сплошными линиями показаны графики напряжений в поясах, полученные по формулам (2.6) ... (2.9) при следующих числовых данных:

$$E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}, \quad E_0 = 7 \cdot 10^4 \text{ МПа}, \quad G = 2,7 \cdot 10^4 \text{ МПа}, \\ f = 2,4 \text{ см}^2, \quad \delta = 0,1 \text{ см}, \quad H = 20 \text{ см}, \quad B = 50 \text{ см}, \\ \ell = 200 \text{ см}, \quad a = 50 \text{ см}, \quad P = 1 \text{ кН}.$$

Как было сказано выше, при выводе формул (2.6) ... (2.9) предполагалось, что обшивка участвует вместе с поясами в работе на растяжение-сжатие. Но вблизи заделки обшивка выключается из работы, поскольку закрепление кессона осуществлено лишь по

длина. Если считать, что обшивка вообще работает только на сжатие, не воспринимая нормальных напряжений, то напряжения в поясах можно найти по предыдущим формулам, положив в них $E_0 = 0$. Результаты такого расчета даны на рис.2.7 (пунктирные линии).

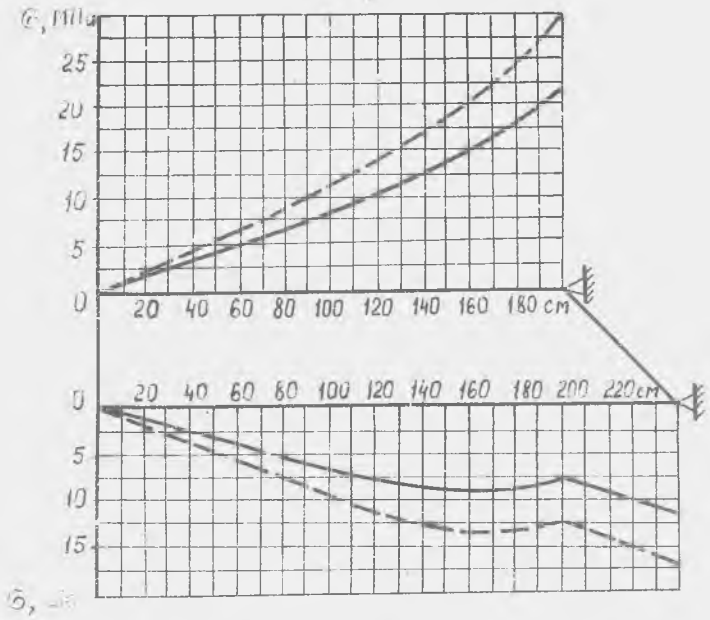


Рис.2.7. Нормальные напряжения в поясах при $P = 1 \text{ кН}$

По мере удаления от заделки обшивка будет включаться в работу на растяжение-сжатие, и вдали от заделки более обособленными будут графики напряжений, представленные сплошными линиями. Как известно, зона включения поперечного сечения в работу имеет протяженность порядка расстояния между поясами (в нашем случае порядка $B = 50 \text{ см}$). Следовательно, можно ожидать, что сплошные кривые на рис.2.7 позволяют получить хорошую оценку напряжений в поясах на расстоянии порядка

150 см от свободного края; у самой заделки более достоверные результаты будут давать пунктирные кривые.

2.3. Экспериментальное определение напряжений

Экспериментальное определение напряжений в поясах кессона производится с помощью тензорезисторов (датчиков), схема наклейки которых представлена на рис.2.8.

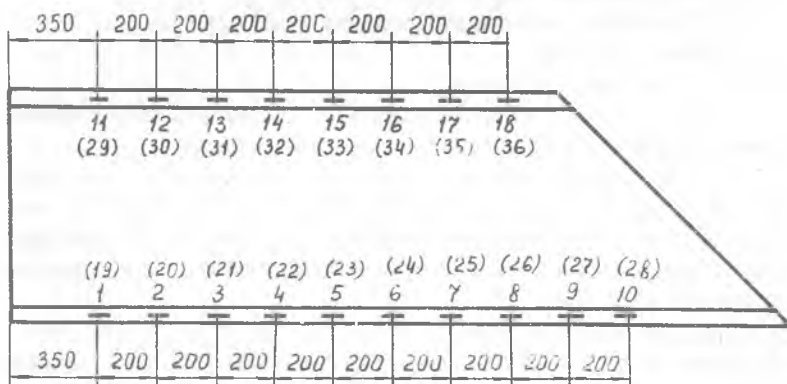


Рис.2.8. Схема наклейки и нумерации тензорезисторов (тензорезисторы 1...18 наклеены на верхних, а 19-36 - на нижних поясах)

Показания тензорезисторов регистрируются с помощью цифрового тензометрического моста ЦТМ-3. Деформация в i -той точке подсчитывается по формуле /2/:

$$\epsilon_i = \frac{2}{k} \cdot 10^{-5} \cdot n_i$$

Здесь $k = 2,04$ - коэффициент тензочувствительности датчиков, наклеенных на кессон; n_i - показание i -того датчика, выраженное в единицах показания прибора ЦТМ-3.

Переход от деформации к напряжениям в поясах производится по закону Гука для одноосного напряженного состояния.

2.4. Порядок выполнения работы

1. Подсоединить кабель от переключателя датчиков прибора ЦТМ-3 к штепсельным разъемам лабораторной установки и по маркировке разъемов установить соответствие между номерами датчиков и номерами каналов прибора ЦТМ-3.

2. Снять показания датчиков сначала при предварительной нагрузке P_0 , а затем при конечной нагрузке P_1 .

3. Вычислить приращения n_i показаний всех датчиков, вызванные изменением нагрузки на величину $P = P_1 - P_0$.

4. Повторить эксперимент еще два раза и результаты всех трех опытов усреднить.

5. Разгрузить установку.

6. По средним показаниям датчиков подсчитать экспериментальные значения напряжений в исследуемых точках.

7. Пересчитать кривые, приведенные на рис.2.7, на силу $P = P_1 - P_0$ и воспроизвести их в бланке отчета. На эти же графики нанести точками экспериментальные значения напряжений. Напряжения в сжатых поясах для удобства рекомендуется брать по абсолютной величине.

8. Определить область кессона, в которой применима элементарная теория изгиба тонкостенных конструкций, т.е. область, в которой напряжения в передних и задних поясах различаются не более, чем на 5 - 10 %.

9. Сравнивая экспериментальные значения напряжений с теоретическими, определить область включения обшивки в работу. Можно считать, что обшивка полностью включена в работу, если экспериментальные точки отклоняются от сплошных линий не более, чем на 5-10 %. Затем по замерам в точках 5, 23, 15 и 33 определить согласие теории с экспериментом в области, удаленной от заделки, а по замерам в точках 9, 27, 18 и 36 - вблизи заделки.

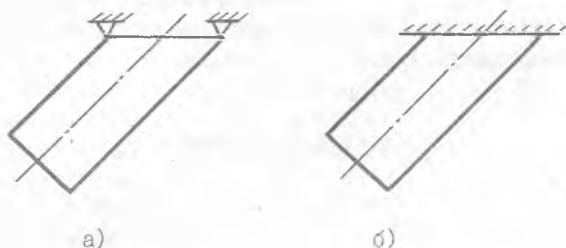
2.5. Контрольные вопросы

1. Закрепление стреловидного кессона осуществлено путем приварки поясов к плите (схема а). Как изменятся напряжения в поясах кессона при его изгибе, если в корневом сечении сварку

осуществить по всему контуру (схема б) ?

2. Какое влияние оказывает стреловидность кессона на его напряженное состояние ?

3. В чем отличие в работе обшивки стреловидного кессона при изгибе от случая прямого кессона ?



4. Объясните, почему в стреловидном кессоне усилия вблизи заделки в коротких поясах больше, чем в длинных.

5. Какой из перечисленных ниже признаков может свидетельствовать о приемлемости гипотезы о плоском законе распределения деформации в данном поперечном сечении стреловидного кессона ?

а) Напряжения в передних и задних поясах различаются при изгибе не более, чем на 5-10 %.

б) Экспериментальные значения напряжений отличаются от теоретических не более, чем на 5-10 %.

в) Нормальные напряжения в обшивке составляют не более 5-10 % от напряжений в поясах.

6. Обшивка кессона, исследуемого в данной лабораторной работе, эффективно работает вместе с поясами на растяжение-сжатие лишь на некотором удалении от заделки. Чем это объясняется ?

7. Как при изгибе кессона изменяются усилия в его поясах при создании стреловидности ?

8. В стреловидном кессоне усилия в коротких поясах больше, чем в длинных. Изменится ли эта неравномерность, если модуль сдвига обшивки увеличить вдвое ?

Лабораторная работа № II

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ СТАБИЛИЗАТОРА НА ИЗГИБ И КРУЧЕНИЕ

Цель работы - экспериментально определить деформации стабилизатора заданной нагрузкой и по ним рассчитать жесткость стабилизатора на изгиб и кручение.

3.1. Объект исследования

Экспериментальная установка (рис.3.1) состоит из хвостового оперения самолета МИГ-15 и системы нагружения его части - стабилизатора.

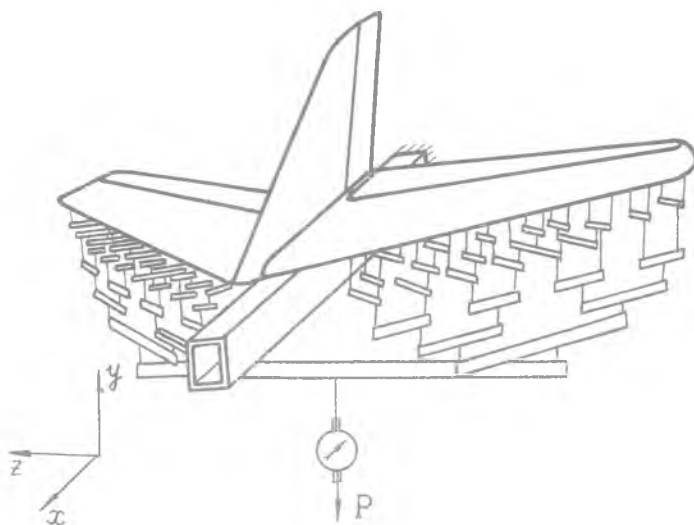


Рис.3.1. Схема экспериментальной установки

Силовой каркас планера самолета должен обладать достаточной жесткостью. Жесткость конструкции влияет на характеристики устойчивости и управляемости самолета. При недостаточной жест-

кости могут появиться нежелательные явления аэроупругости : флаттер, реверс, дивергенция и др. .

Ввиду сложной формы конструкций, наличия вырезов, накладок, различных разъемов и так далее расчеты жесткостных характеристик выполняются приближенно, а затем уточняются по результатам экспериментальных испытаний.

Силовой каркас стабилизатора состоит из стального лонжерона, центральной силовой нервюры, 16 нормальных нервюр и задней стенки. Обшивка стабилизатора толщиной $\delta = 1$ мм и стрингеры выполнены из алюминиевого сплава Д16.

Существующие способы воспроизведения распределенных аэродинамических поверхностных нагрузок при статических испытаниях основаны на замене распределенных сил системой элементарных сосредоточенных сил. При большом количестве таких сил хорошо воспроизводятся не только общие, но и местные нагрузки на испытываемую конструкцию.

На рис.3.2 показан фрагмент рычажной системы нагружения установки.

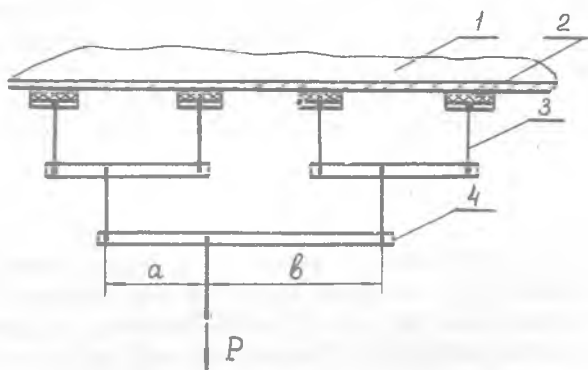


Рис.3.2. Схема рычажной системы

Сосредоточенные нагрузки нельзя прикладывать непосредственно к тонкой обшивке и обладающим малой изгибной жесткостью стрингерам без риска вызвать местное разрушение конструкции. Поэтому нагрузка на стабилизатор I прикладывается через резиновые прокладки 2, приклеенные к его поверхности.

Перераспределение прикладываемой нагрузки P между вертикальными тягами 3 в соответствии с заданным законом достигается подбором плеч "а" и "б" горизонтальных рычагов 4.

Общая нагрузка на установку распределяется симметрично на обе консоли горизонтального оперения. В дальнейших расчетах нам понадобятся эпюры изменения изгибающих M_x и крутящих M_z моментов по размаху консоли. Они приведены на рис.3.3 для того случая, когда $\bar{P} = 1$ кН, и обозначены через \bar{M}_x и \bar{M}_z .

Эпора \bar{M}_z имеет ступенчатый характер. Скачки на ней наблюдаются в тех местах, где вертикальные тяги крепятся к стабилизатору.

3.2. Теоретические положения

Стабилизатор представляет собой тонкостенную подкрепленную конструкцию. При его деформации полное перемещение каждого сечения можно разложить на поступательное перемещение вместе с центром жесткости и вращательное вокруг этого центра (рис.3.4). Поступательное перемещение Y_i вызывается изгибающим моментом M_x , а поворот на угол φ_i - действием крутящего момента M_z относительно центра жесткости.

Балочная теория расчета тонкостенных конструкций для определения относительного угла закручивания α дает следующую формулу:

$$\alpha = \frac{d\varphi}{dz} = \frac{M_z}{GJ_n} \quad (3.1)$$

Здесь φ - угол поворота сечения, G - модуль сдвига материала обшивки, J_n - полярный момент инерции сечения.

Тогда интересующая нас жесткость стабилизатора на кручение, равная произведению GJ_n , может быть найдена следующим образом:

$$GJ_n = \frac{M_z}{\alpha} \quad (3.2)$$

Поскольку характер изменения момента M_z известен (см. эпюру на рис.3.3), то экспериментальному определению подлежит закон изменения угла α по размаху оперения.

Одну половину стабилизатора можно рассматривать как кон-

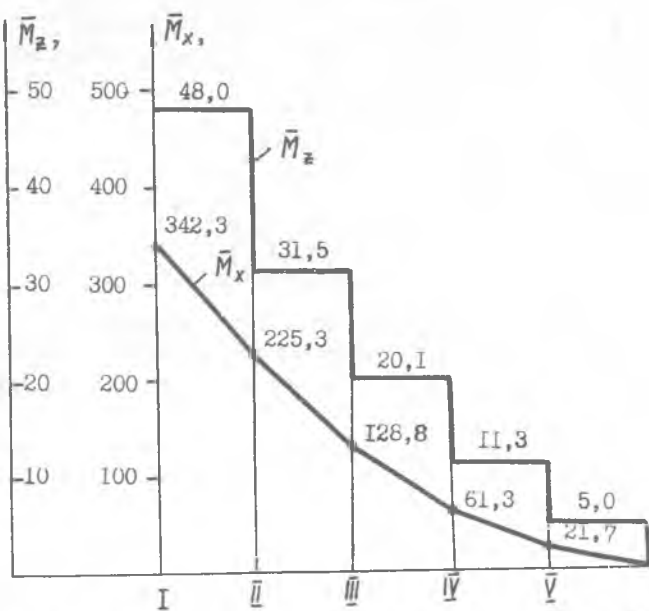


Рис.3.3. Эпюры изгибающих \bar{M}_x и крутящих моментов \bar{M}_z
($P = 1$ кН)

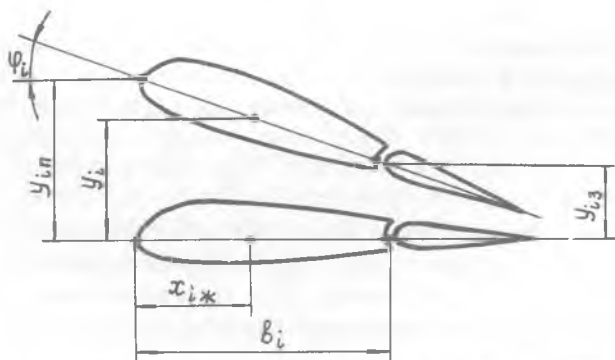


Рис.3.4. Схема измерения перемещений в сечении

сольную балку. Тогда для определения жесткости стабилизатора на изгиб EJ_x можно воспользоваться дифференциальным уравнением упругой линии балки, известным из курса сопротивления материалов:

$$\frac{d^2 y}{dz^2} = \frac{M_x}{EJ_x} \quad (3.3)$$

Отсюда

$$EJ_x = \frac{M_x}{\frac{d^2 y}{dz^2}} \quad (3.4)$$

Следовательно, чтобы определить закон изменения EJ_x по размаху консоли, необходимо найти из эксперимента характер изменения второй производной от перемещения y по координате z .

Ось центров жесткости z для рассматриваемого стабилизатора находится на расстоянии 47,2 % его хорды от носка сечения, т.е.

$$x_{i,ж} = 0,472 b_i$$

где b_i - хорда i -го сечения (см.рис.3.5).

3.3. Экспериментальное определение перемещений и углов закручивания

Чтобы определить угол закручивания φ сечения, необходимо измерить перемещения y в двух его точках (рис.3.4). Тогда угол закручивания i -го сечения найдется как

$$\varphi_i = \frac{y_{iн} - y_{iз}}{b_i} \quad (3.5)$$

Здесь $y_{iн}$ - вертикальное перемещение точки передней кромки i -го сечения; $y_{iз}$ - вертикальное перемещение точки задней кромки i -го сечения; b_i - расстояние между точками.

Необходимый для дальнейших расчетов прогиб y_i центра жесткости будет

$$y_i = y_{iн} - \varphi_i \cdot x_{i,ж} \quad (3.6)$$

В настоящей работе прогибы стабилизатора измеряются индикаторами часового типа в пяти сечениях каждой консоли. Положение точек измерения прогибов по передней и задней кромкам стабилизатора показано на рис.3.5. Номера сечений на этом рисунке обозначены римскими цифрами. Индикаторы крепятся на жесткой раме. Их мерительные штифты связаны со стабилизатором через тонкие стальные струны. Цена малого деления индикаторов - 0,01 мм.

3.4. Порядок проведения эксперимента

1. Снять показания индикаторов при предварительной нагрузке P_0 .
2. Снять показания индикаторов при окончательной нагрузке P_1 .
3. Разгрузить систему до нагрузки несколько ниже P_0 и эксперимент повторить еще два раза.

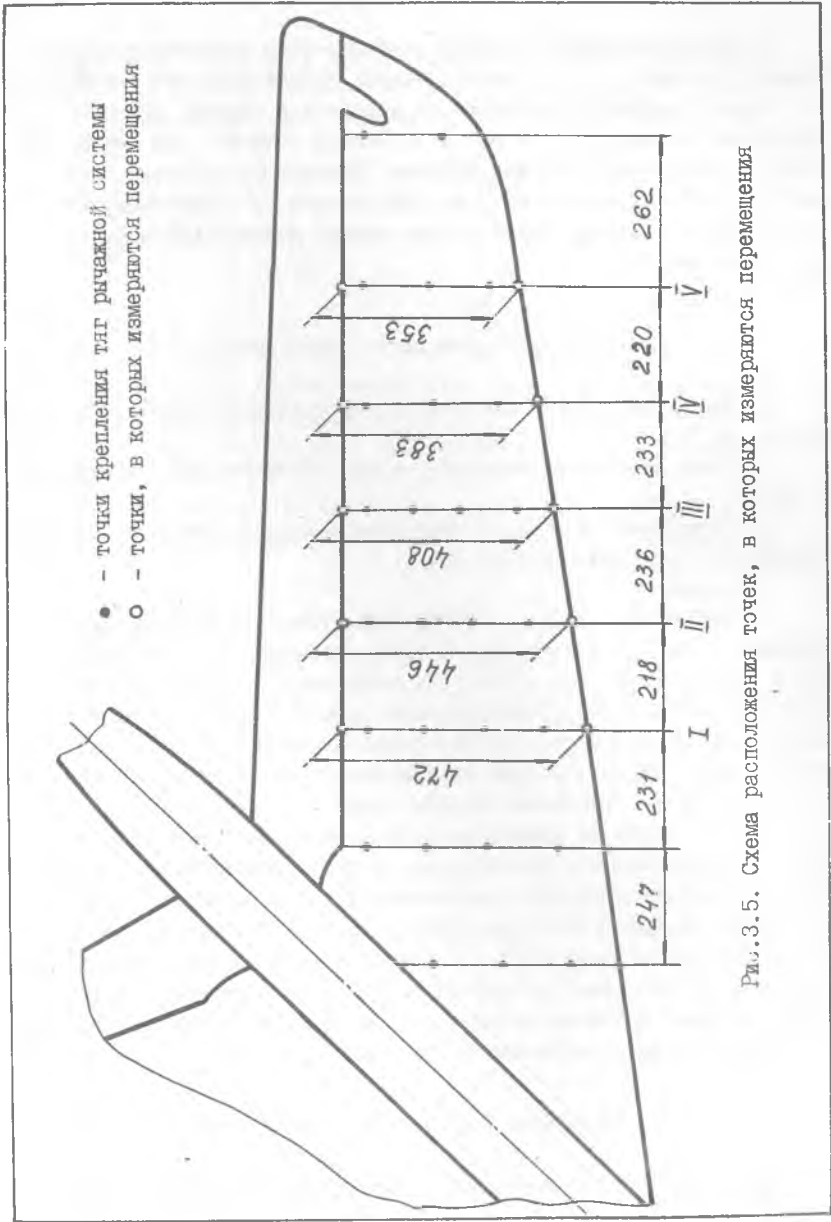
Указания:

1. Поскольку прогибы в большинстве точек стабилизатора превышают 1 мм, то необходимо снимать показания как с большой, так и с малой шкалы индикатора. Предварительно следует установить соответствие между показаниями большой и малой стрелок индикатора: если большая стрелка стоит на нуле, то малая должна показывать целое значение перемещения в мм. Такого соответствия добиваются вращением большой шкалы индикатора.

2. Так как связь индикаторов со стабилизатором осуществляется через тонкие стальные струны, то, чтобы свести к минимуму влияние трения покоя в индикаторах на их показания, следует перед каждым снятием показаний слегка постучать по раме, на которой крепятся индикаторы. Приступать к снятию показаний можно после того, как успокоятся затухающие собственные колебания системы. При этом уже нельзя прикасаться к индикаторам и струнам, чтобы не нарушать их настройку.

3.5. Обработка результатов эксперимента

Для каждой точки находится среднее значение прогиба по



трем замерам.

По формулам (3.5) и (3.6) подсчитываются углы закручивания φ_i и прогибы центров жесткости y_i всех сечений.

Среднее значение относительного угла закручивания на участке между i -тым и $i+1$ сечениями равно (см.рис.3.6):

$$\alpha_i = \frac{\varphi_{i+1} - \varphi_i}{\Delta z_i}$$

Здесь Δz_i - расстояние между соседними сечениями.

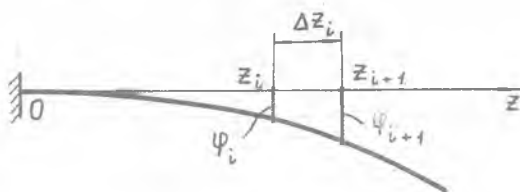


Рис.3.6. Схема вычисления относительных углов закручивания

Тогда средняя жесткость стабилизатора на рассматриваемом участке согласно формуле (3.2) будет:

$$GJ_{ni} = \frac{M z_i}{\alpha_i}$$

Результаты расчетов GJ_n для всех четырех участков консоли заносятся в протокол лабораторной работы.

Теперь перейдем к вычислению экспериментальных значений изгибной жесткости EJ_x стабилизатора. Чтобы подсчитать вторую производную, входящую в формулу (3.4), сначала найдем средние экспериментальные значения первой производной для всех участков между сечениями (см.рис.3.7):

$$\left(\frac{dy}{dz}\right)_i \approx \frac{y_{i+1} - y_i}{\Delta z_i}$$

Затем подсчитаем вторую производную:

$$\left(\frac{d^2y}{dz^2}\right)_i \approx \frac{\left(\frac{dy}{dz}\right)_{i+1} - \left(\frac{dy}{dz}\right)_i}{\Delta z_i}$$

Отметим, что в последней формуле Δz_i - расстояние между серединами соседних участков (см.рис.3.7).

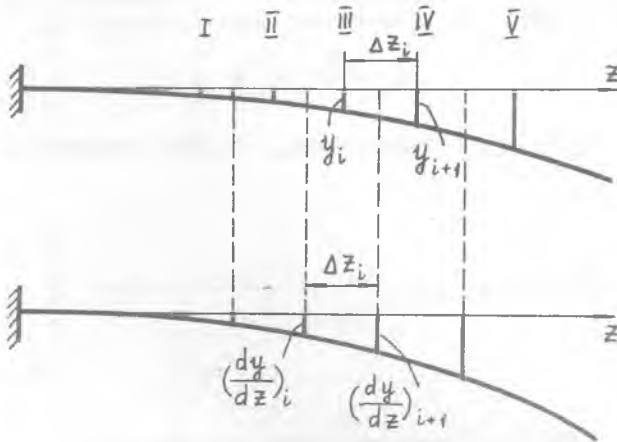


Рис.3.7. Схема вычисления первой и второй производных от функции прогибов консоли

После операций дифференцирования получается четыре значения первой производной и три значения второй производной.

Теперь по формуле (3.4) вычисляются экспериментальные значения изгибной жесткости стабилизатора:

$$(EJ_x)_i = \frac{M_{xi}}{\left(\frac{d^2y}{dz^2}\right)_i}$$

Значения M_{xi} для нагрузки $P = P_1 - P_0$ находятся с использованием соответствующего графика \bar{M}_x на рис.3.3 для силы $P = 1$ кН.

3.6. Контрольные вопросы

1. Каким образом в экспериментальной установке реализуется распределенная аэродинамическая нагрузка на стабилизатор?
2. Какое должно быть соотношение плеч «а» и «б» горизон-

тального рычага, чтобы прикладываемая к нему нагрузка P разложилась, например, на две составляющие: $0,2P$ и $0,8P$?

3. Что наблюдается на эпюре M_x в местах приложения нагрузки от вертикальных тяг ?

4. Как подсчитать значение M_z от нагрузки $P = P_1 - P_0 = 3kH$, если нам известно значение \bar{M}_z от нагрузки $\bar{P} = 1 \text{ кН}$?

5. Какое соотношение балочной теории расчета тонкостенных конструкций используется для определения экспериментальных значений жесткости стабилизатора на кручение ?

6. Как записывается уравнение упругой линии балки ?

7. Что такое центр жесткости сечения ? Что такое линия жесткости консоли ?

8. Как подсчитываются экспериментальные значения углов закручивания сечений φ_i и прогибы центров жесткости сечений U_i ?

9. Как настраиваются индикаторы часового типа перед экспериментом ?

10. Сколько индикаторов часового типа необходимо установить на консоль, чтобы можно было найти семь экспериментальных значений изгибной жесткости ?

Лабораторная работа № 13

4. ДИНАМИЧЕСКОЕ ИСПЫТАНИЕ АМОРТИЗАЦИОННОЙ СТОЙКИ ШАССИ

Ц е л ь р а б о т ы - определить характер изменения полной осевой силы, силы газового сопротивления и обжатия амортизатора при динамическом испытании стойки; построить диаграмму работы амортизатора; подсчитать коэффициент полноты диаграммы и коэффициент гистерезиса.

4.1. Объект исследования

Э к с п е р и м е н т а л ь н а я у с т а н о в к а (рис.4.1) копрового типа состоит из груза 1, направляющих 2, по которым скользит груз при падении, амортизационной стойки 3 самолета ЯК-18 и высокоскоростной системы записи.

Груз массой $m = 480$ кг имитирует массу самолета, приходящуюся на одну ногу шасси при посадке. На заданную высоту он вместе со стойкой поднимается лебедкой 4, а затем сбрасывается по электрическому сигналу, подаваемому на замок 5 с пульта управления.

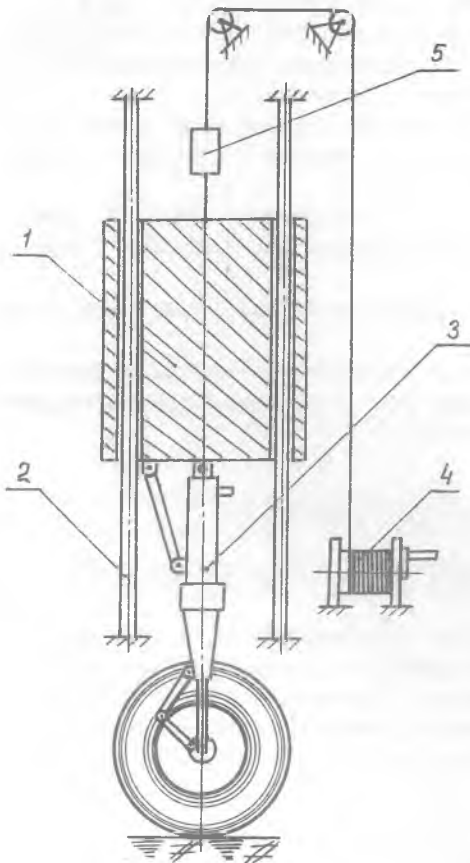


Рис.4.1. Схема экспериментальной установки

Амортизационная стойка (рис.4.2) состоит из цилиндра 3 и штока I, на верхнем конце которого закреплен поршень 2. Поршень собран из двух бронзовых колец 4 и 6. Между ними находится свободно плавающий кольцевой клапан 5.

Кольца имеют по 30 отверстий диаметром 4 мм, а клапан — четыре отверстия диаметром 2 мм, которые соединены между собой канавкой.

Внутренняя полость цилиндра заполнена спиртоглицериновой смесью и воздухом под давлением 2 МПа, чем создается предварительная затяжка стойки.

Телескопический амортизатор самолета ЯК-18 относится к амортизаторам с тормо-

жением на обратном ходе.

При ударе колеса о землю трогание поршня с места происходит в тот момент, когда осевая сила в стойке превысит силу сопротивления газа и силу трения. Поршень (рис.4.2 а), двигаясь вверх, сжимает газ. При этом гидросмесь отжимает клапан 5 вниз и перетекает в образующуюся полость под поршнем.

На обратном ходе (рис.4.2 б) сжатый газ стремится расширяться и возвратит шток в исходное положение. Смесь, находящаяся под поршнем, поджимает клапан 5 к верхнему кольцу поршня и перетекает в верхнюю полость только через четыре небольших отверстия клапана. Значительное гидравлическое сопротивление, возникающее при перетекании жидкости через отверстия в клапане, смягчает удар обратного хода и обеспечивает плавность работы амортизации при посадке,

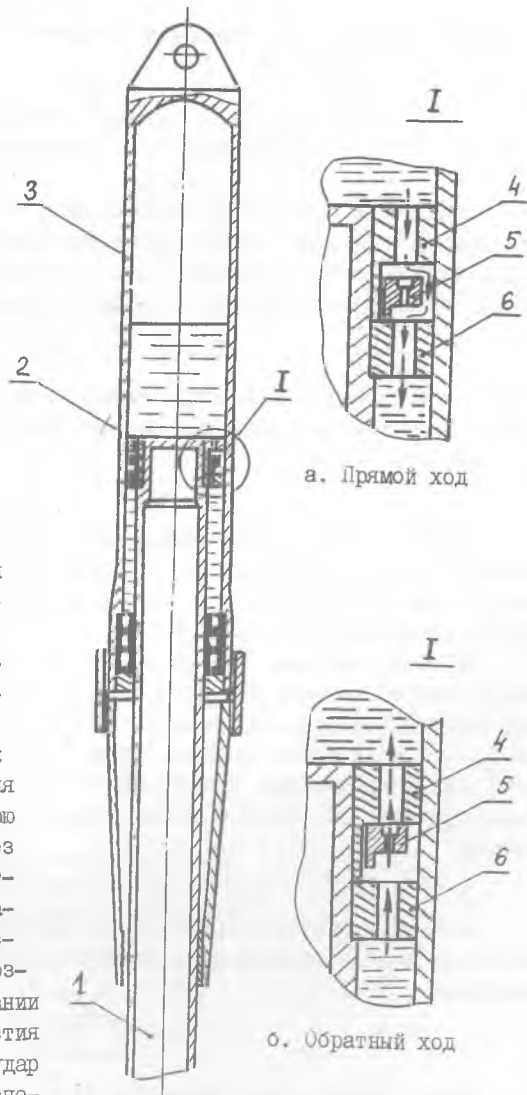


Рис.4.2. Схема амортизационной стойки шасси

а также при рулении по аэродрому и взлете.

4.2. Силы, действующие в амортизаторе.

Диаграмма работы амортизатора

При прямом ходе поршня осевая сила Q в амортизаторе складывается из силы сопротивления сжимаемого газа Q_r , силы гидравлического сопротивления $Q_{ж}$, обусловленной перетеканием жидкости через отверстия в поршне, и силы трения Q_T :

$$Q = Q_r + Q_{ж} + Q_T$$

При обратном ходе поршня активной силой, вызывающей движение, является сила давления сжатого газа. Полная осевая сила в стойке будет равна

$$Q = Q_r - Q_{ж} - Q_T$$

График, показывающий зависимость между осевой силой в стойке Q и ходом поршня S , называют диаграммой работы амортизатора. Примерный вид такой диаграммы на прямом ходе поршня представлен на рис.4.3.

На этой диаграмме работе сжатия газа A_r^{np} на прямом ходе соответствует площадь фигуры $OabcdO$, работе преодоления сил гидравлического сопротивления $A_{ж}^{np}$ - площадь между кривыми 1 и 2 и, наконец, площадь между кривыми 2 и 3 характеризует работу преодоления силы трения A_T^{np} . Таким образом, полная работа, поглощенная амортизатором на прямом ходе, будет равна:

$$A_{ам}^{np} = A_r^{np} + A_{ж}^{np} + A_T^{np}$$

Отношение действительной работы амортизатора к максимальной теоретически возможной называется коэффициентом полноты диаграммы (рис.4.3):

$$\eta = \frac{A_{ам}^{np}}{Q_{max} \cdot S_k}$$

Здесь Q_{max} - максимальная осевая сила в амортизаторе, S_k - ход поршня к концу прямого хода.

Работа, затраченная на преодоление сил трения и гидравлического сопротивления, необратимо переходит в тепло. Следова-

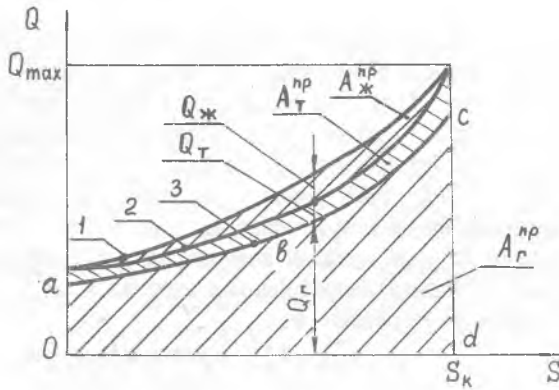


Рис.4.3. Диаграмма работы амортизатора на прямом ходе поршня

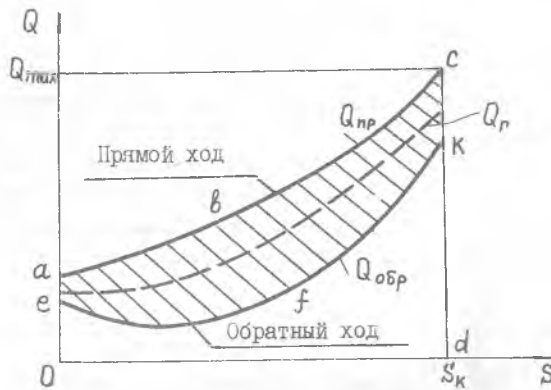


Рис.4.4. Диаграмма работы амортизатора на прямом и обратном ходе поршня

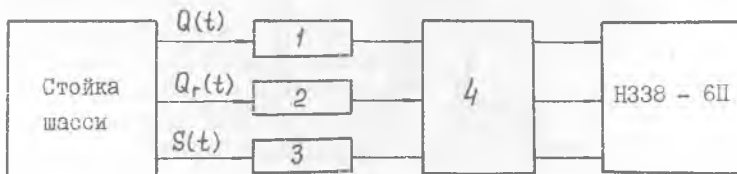


Рис.4.5. Блок-схема измерительной системы установки

вательно, площадь на рис.4.3 между кривыми I и 3 соответствует энергии, рассеянной в амортизаторе на прямом ходе.

Зависимость $Q(S)$ за полный цикл работы амортизатора приведена на рис.4.4. Кривая kfe определяет полную силу $Q_{обр}$ в амортизаторе на обратном ходе. Площадь, заключенная между кривыми Q_r и $Q_{обр}$, дает работу, рассеянную на обратном ходе. Таким образом, за прямой и обратный ходы поршня амортизатором рассеивается энергия, равная заштрихованной площади на рис.4.4. Отношение рассеянной амортизатором энергии к $A_{ам}^{np}$ называется коэффициентом гистерезиса α :

$$\alpha = \frac{A_{ам}^{np} - A_{ам}^{обp}}{A_{ам}^{np}} = \frac{\text{плоч. } abc kfe a}{\text{плоч. } oab cdo}$$

4.3. Измерительная система

Измерительная система установки, блок-схема которой приведена на рис.4.5, позволяет одновременно записывать изменение во времени полной осевой силы $Q(t)$, силы сопротивления газа $Q_r(t)$ и хода поршня $S(t)$. Система включает тензометрические датчики силы 1, давления 2 и реостатный датчик перемещений 3. Сигналы датчиков усиливаются многоканальной тензостанцией 4 и записываются быстродействующим самописцем И338-6П.

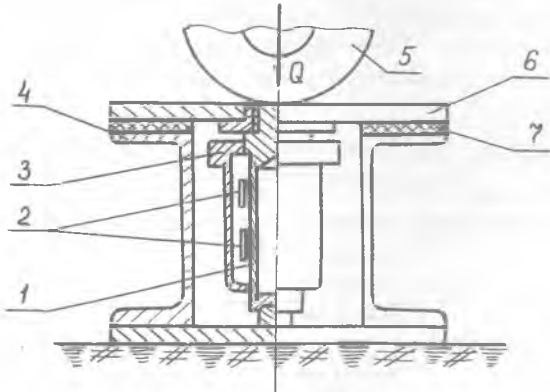


Рис.4.6. Схема датчика силы

Датчик силы (рис.4.6) состоит из тонкостенного цилиндра I, на наружную поверхность которого, защищенную кожухом 3, наклеены четыре тензорезистора 2. Между верхней плитой 6 и боковыми поддерживающими швеллерами 4 установлены мягкие резиновые прокладки 7.

При падении стойки 5 на верхнюю плиту цилиндр деформируется (сжимается), что приводит к изменению сопротивления тензорезисторов.

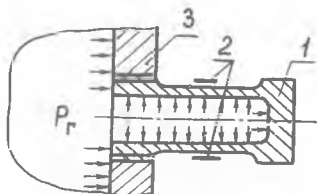


Рис.4.7. Схема датчика давления

Датчик давления (рис.4.7) представляет собой небольшой тонкостенный цилиндр I, заглушенный с одной стороны и сообщающийся с газовой камерой стойки 3 с другой стороны. На наружную поверхность цилиндра в окружном направлении наклеен тензорезистор 2, который воспринимает деформацию цилиндра, вызванную изменением давления в стойке.

Полное давление газа в стойке Р можно представить в виде суммы статического (начального) P_0 и динамического (переменного) P давления:

$$P = P_0 + P_1$$

Первая составляющая обусловлена предварительной затяжкой амортизатора до давления $P_0 = 2$ МПа.

Датчиком давления в процессе эксперимента измеряется давление P_1 .

Датчик перемещения (рис.4.8) состоит из высокоомной проволоки I, укрепленной на изолирующей прокладке 2, и скользящего контакта 3, который прижимается к проволоке упругой пластиной 4. На прокладку нанесена миллиметровая шкала.

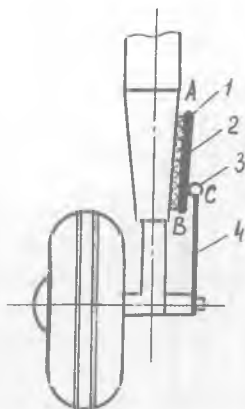


Рис.4.8. Схема датчика перемещения

При обжатии амортизатора пере-

мещение скользящего контакта приводит к изменению сопротивления плеч AC и BC высокоомной проволоки.

Сигналы с датчиков поступают на входы трех каналов восьми-канального тензоусилителя 8АНЧ-7М и усиливаются.

4.4. Тарировка измерительных каналов

В результате эксперимента получают три осциллограммы, т.е. графики трех функций $Q(t)$, $S(t)$ и $P_1(t)$, записанные на специальной бумаге. Масштабы записей определяются по статическим тарировкам каналов.

Тарировка канала силы $Q(t)$. С помощью лебедки на датчик силы медленно опускается груз P ($P = m \cdot g = 4708,8 \text{ Н}$) и фиксируется вызванное им смещение пера самописца Δx в миллиметрах. Следовательно, масштаб силы на осциллограмме Q будет, очевидно, равен

$$\mu_Q = \frac{P}{\Delta x} \text{ Н/мм}$$

Тарировка канала хода поршня $S(t)$. На вход измерительного канала подается сигнал, соответствующий смещению скользящего контакта датчика хода поршня из точки C в некоторую точку A реостатной проволоки (рис.4.9).

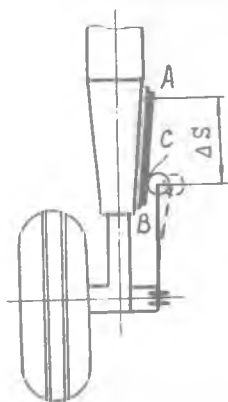


Рис.4.9. К тарировке канала записи хода поршня

Смещение скользящего контакта при тарировке имитируется следующим образом: ползунок контакта сначала соединяется с точкой A дополнительным электрическим проводом, а затем отсоединяется от реостатной проволоки в точке C .

Расстояние AC выбирается соответствующим некоторому ходу поршня $\Delta S = 12 \dots 18 \text{ см}$.

Если Δy - смещение пера самописца в мм, то масштаб записи хода поршня на осциллограмме будет:

$$\mu_S = \frac{\Delta S \text{ см хода поршня}}{\Delta y \text{ мм осциллограммы}}$$

Тарировка канала давления $P(t)$. Рассмотрим сначала подробнее совместную работу датчика давления и тензоусилителя. Тензорезистор R датчика давления, наклеенный на тонкостенный цилиндр в окружном направлении (см. рис.4.7), включается в плечо AB входного измерительного моста тензоусилителя (рис.4.10). Тогда при измерении давления в стойке сопротивление плеча AB будет изменяться. На выходе измерительного моста появляется сигнал, который, далее, усиливается и в конечном итоге преобразуется в смещение пера самописца, пропорциональное воздействию на вход канала давлению.

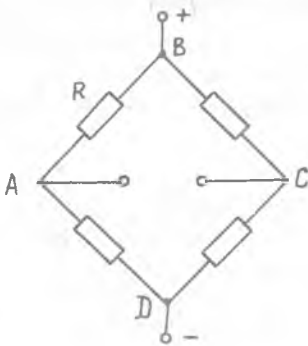


Рис.4.10. Входной измерительный мост тензоусилителя

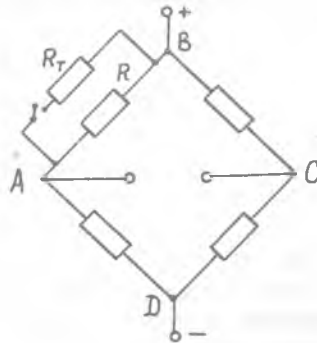


Рис.4.11. Измерительный мост тензоусилителя с добавочным резистором для электротарировки

Тарировка канала давления производится при зарядке амортизатора спиртоглицериновой смесью и сжатым воздухом. При этом изменению давления в стойке на величину предварительной затяжки $P_0 = 2$ МПа устанавливается смещение пера самописца $\Delta Z_0 = 10$ мм за счет изменения коэффициента усиления усилителя, что дает масштаб записи $\mu_P = 0,2$ МПа/мм.

После выполнения тарировки канала давления параллельно к тензорезистору R датчика давления подключается высокоомный тарировочный резистор R_T (рис.4.11). В результате сопротивление плеча AB моста изменится и перо самописца отклонится на

некоторую (тарировочную) величину $\Delta z_T = 33$ мм.

С течением времени коэффициент усиления электронных усилителей может измениться, что повлечет за собой изменение масштаба записи осциллограммы давления. Вследствие этого при подсоединении тарировочного резистора R_T ко входному мосту отклонение пера Δz самописца будет отличаться от тарировочного значения Δz_T . Поэтому перед каждым экспериментом необходимо коэффициент усиления усилителя регулировать таким образом, чтобы выполнилось равенство $\Delta z = \Delta z_T$. Таким образом восстанавливается первоначальный масштаб записи. Эта операция называется электротарировкой. При повторных экспериментах ее выполнять проще, чем производить описанную ранее тарировку.

4.5. Порядок выполнения работы

Для выполнения эксперимента необходимо:

1. Провести тарировку всех измерительных каналов.
2. Установить скорость движения бумаги самописца 100 мм/с.
3. Поднять лебедкой груз со стойкой на заданную высоту.
4. Снять блокировку замка подвески груза, переведя тумблер блокировки на пульте управления в положение "Выкл."
5. Нажать кнопку "Сброс".

4.6. Обработка результатов эксперимента

Примерный вид получаемых осциллограмм $Q(t)$, $S(t)$ и $P(t)$ приведен на рис.4.12. На осциллограмме $S(t)$ проставляются некоторые характерные точки диаграммы работы амортизатора в соответствии с рис.4.4. Отметим, что концу прямого хода поршня соответствует точка C . В этот момент $S = S_k$. Обратный ход начинается с точки k . На участке $C - k$ поршень неподвижен.

Время прямого $t_{пр}$ и обратного $t_{обр}$ ходов поршня разбивается на n примерно одинаковых интервалов ($n = 8 \dots 10$). Для каждого значения времени t_i ($i = 0, 1, 2, 3, \dots, n$) с осциллограмм $Q(t)$, $S(t)$ и $P(t)$ снимаются ординаты x_i, y_i, z_i

(в миллиметрах). Поскольку масштабы записей известны из тарифовок, подсчитываются текущие значения осевой силы Q_i , перемещения S_i и силы сопротивления $Q_{Гi}$:

$$Q_i = \mu_Q \cdot X_i$$

$$S_i = \mu_S \cdot y_i$$

$$Q_{Гi} = (\mu_P \cdot Z_i + P_0) F$$

Здесь μ_Q , μ_S и μ_P - известные масштабы записей $Q(t)$, $S(t)$ и $P_i(t)$; $P_0 = 2$ МПа - давление предварительной затяжки амортизатора; $F = 19,6$ см² - площадь газового поршня.

По вычисленным значениям Q_i и S_i строится диаграмма работы амортизатора на прямом и обратном ходах поршня.

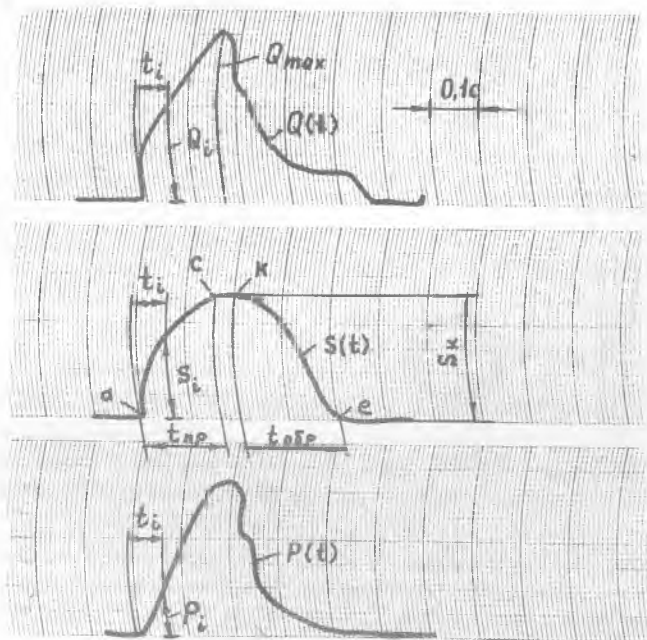


Рис.4.12. Примерный вид записываемых диаграмм

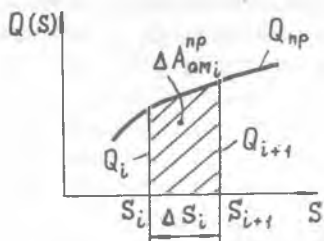


Рис. 4.13. Схема приближенного вычисления работы амортизатора по правилу трапеций

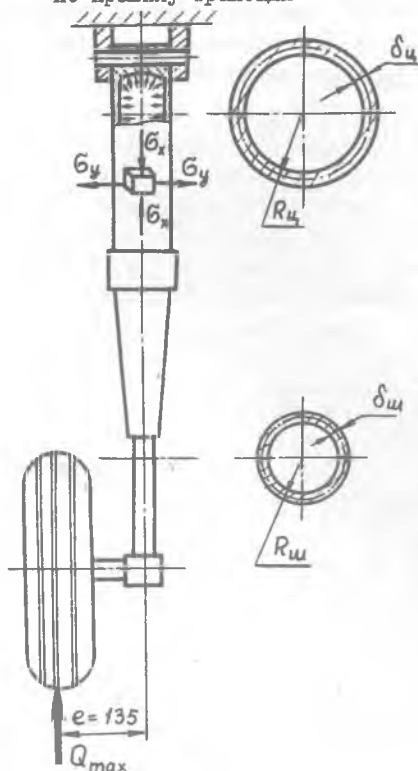


Рис. 4.14. Схема нагружения штока и цилиндра

Затем определяется экспериментальное значение коэффициента полноты диаграммы

$$\eta = \frac{A_{ам}^{np}}{Q_{max} \cdot S}$$

Входящая в эту формулу работа прямого хода $A_{ам}^{np}$ (см. рис. 4.4) может быть найдена численным интегрированием по правилу трапеций (рис. 4.13):

$$A_{ам}^{np} = \sum_{i=0}^{n-1} \Delta A_{амi}^{np}$$

$$\Delta A_{амi}^{np} = \frac{Q_{i+1} + Q_i}{2} \Delta S_i$$

$$\Delta S_i = S_{i+1} - S_i$$

Далее определяется экспериментальное значение коэффициента гистерезиса

$$\varepsilon = \frac{A_{ам}^{np} - A_{ам}^{обр}}{A_{ам}^{np}}$$

Работа осевой силы Q на обратном ходе поршня $A_{ам}^{обр}$ вычисляется как и работа прямого хода. По экспериментальному значению осевой силы Q_{max} и соответствующего ей давления P_{max} в амортизаторе можно вычислить максимальные напряжения в штоке и цилиндре. Схема их нагружения и поперечные сечения приведены на рис. 4.14.

Шток работает на сжатие и изгиб. Максимальное сжимающее напряжение в штоке будет равно

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_{ш}} + \frac{Q_{\max}}{F_{ш}} = \frac{Q_{\max} \cdot e}{\pi \delta_{ш} \cdot R_{ш}^2} + \frac{Q_{\max}}{2\pi R_{ш} \delta_{ш}}$$

Здесь $R_{ш} = 23,5$ мм - средний радиус штока, $\delta_{ш} = 3,0$ мм - толщина стенки штока. Размер e указан на рис.4.14.

Нормальные напряжения от изгиба цилиндра равны

$$\sigma_{x \max} = \frac{M_{\max}}{W_{ц}} = \frac{Q_{\max} \cdot e}{\pi \delta_{ц} \cdot R_{ц}^2},$$

где $R_{ц} = 34$ мм - средний радиус цилиндра, $\delta_{ц} = 2,8$ мм - толщина стенки цилиндра.

Окружные нормальные напряжения $\sigma_{y \max}$ в цилиндре от внутреннего давления P_{\max} можно определить приближенно по безмоментной теории оболочек вращения

$$\sigma_{y \max} = \frac{P_{\max} \cdot R_{ц}}{\delta_{ц}}$$

Для оценки прочности цилиндра можно воспользоваться четвертой теорией прочности

$$\sigma_{\text{экв}}^{\text{IV}} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - 2\sigma_x \sigma_y} \leq \sigma_B,$$

где σ_B - временное сопротивление разрыву материала цилиндра.

4.7. Контрольные вопросы

1. Как устроен амортизатор с торможением на обратном ходе? Как он работает?

2. Что такое предварительная затяжка амортизатора?

3. Что такое коэффициент полноты диаграммы амортизатора?

4. Что характеризует коэффициент гистерезиса амортизатора?

5. Какие силы действуют в амортизаторе? Какая сила вызывает движение поршня на прямом ходе и какая на обратном?

6. В какой момент происходит трогание поршня амортизатора с места?

7. Как устроены и работают датчики силы, перемещения и давления?

8. Что такое электротарировка?
9. Как тарируется канал силы Q ?
10. Как тарируется канал перемещений S ?
11. Как тарируется канал давления P ?
12. Как определить по осциллограммам текущие значения Q_i , S_i и P_i ?
13. Как подсчитывается работа амортизатора, поглощенная им на прямом ходе поршня?
14. Возникают ли меридиональные напряжения в цилиндре амортизатора от внутреннего давления?
15. Как формируется условие прочности по четвертой теории прочности?

Л и т е р а т у р а

1. Кан С.Н., Свердлов И.А. Расчет самолета на прочность.- М.: Оборонгиз, 1961. - 306 с.
2. Определение напряжений с помощью тензорезисторов. Методические разработки КуАИ; сост. В.А.Мехеда; Отв. ред. Х.С.Хазанов. - Куйбышев, 1978, - 32 с.
3. Тарасов Ю.Л. Расчет на прочность стреловидных и треугольных крыльев. Учебное пособие. - Куйбышев: изд. КуАИ, 1973. - 95 с.
4. Хазанов Х.С., Тарасов Ю.Л. Расчет амортизации шасси самолета. Учебное пособие. - Куйбышев: изд. КуАИ, 1970. - 51с.

1. ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	3
2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9 СТАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ КОСОЗАДЕЛАННОГО КЕССОНА НА ИЗГИБ	4
2.1. Объект исследования	4
2.2. Теоретические положения	5
2.3. Экспериментальное определение напряжений	11
2.4. Порядок выполнения работы	12
2.5. Контрольные вопросы	12
3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ СТАБИЛИЗАТОРА НА ИЗГИБ И КРУЧЕНИЕ	14
3.1. Объект исследования	14
3.2. Теоретические положения	16
3.3. Экспериментальное определение перемещений и углов закручивания	18
3.4. Порядок проведения эксперимента	19
3.5. Обработка результатов эксперимента	19
3.6. Контрольные вопросы	22
4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13 ДИНАМИЧЕСКОЕ ИСПЫТАНИЕ АМОРТИЗАЦИОННОЙ СТОЙКИ ШАССИ . .	23
4.1. Объект исследования	23
4.2. Силы, действующие в амортизаторе. Диаграмма работы амортизатора	26
4.3. Измерительная система	28
4.4. Тарировка измерительных каналов	30
4.5. Порядок выполнения работы	32
4.6. Обработка результатов эксперимента	32
4.7. Контрольные вопросы	35