

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО
КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
имени С. П. КОРОЛЕВА

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ
ПО СОПРОТИВЛЕНИЮ
МАТЕРИАЛОВ**

УДК 539.3/8 (076.5)

В методических указаниях изложены общие правила проведения лабораторных работ по сопротивлению материалов и основные требования по технике безопасности, приведены описания и конструктивные схемы испытательных машин и измерительных приборов, применяемых в лабораториях «Сопротивление материалов».

Методические указания предназначены для студентов всех специальностей дневного и вечернего отделений, изучающих курс сопротивления материалов.

Составители: *С. И. Иванов, В. Г. Фокин, Г. Ф. Мальков, С. И. Яковлев*

Рецензенты: *В. Д. Шеголеватых, М. В. Зацепина*

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

В курсе «Сопротивление материалов» рассматриваются прочность, жесткость и устойчивость элементов конструкций, имеющих форму бруса. При расчетах используются различные механические характеристики материалов: временное сопротивление σ_v , предел текучести σ_T , предел выносливости σ_{-1} , относительное удлинение δ , относительное сужение ψ , модуль упругости E и другие. Эти характеристики определяются в ходе испытаний стандартных образцов при нормированных условиях. Таким образом, эксперимент служит основанием для всей теории сопротивления материалов. Поэтому важным элементом курса «Сопротивление материалов» являются лабораторные занятия, которые призваны:

- 1) познакомить студентов с методикой испытаний материалов, научить их определять основные механические характеристики, используемые в расчетах на прочность и жесткость.
- 2) экспериментально проверить справедливость принятых в расчетах гипотез и подтвердить выводы, которые дает теория сопротивления материалов, что будет способствовать лучшему усвоению теоретического материала.
- 3) познакомить с экспериментальными методами изучения деформированного и напряженного состояния.
- 4) познакомить с испытательными машинами и приборами, которые применяются для исследования прочности материалов и конструкций.

Лабораторные работы составлены с учетом содержания и объема лекций. Перед выполнением каждой лабораторной работы студентам необходимо ознакомиться с соответствующим теоретическим материалом по лекциям и рекомендуемой литературе.

Лабораторные работы выполняются группами по 2—5 человек. При этом студенты должны:

- 1) усвоить общие сведения, изложенные в инструкции к данной работе и рекомендуемой литературе, уяснить цель и порядок выполнения работы;
- 2) ознакомиться со схемой машины или установки и измерительной аппаратурой, которые будут использоваться в ходе эксперимента;

3) пройти предварительный контроль по работе и получить допуск к ее выполнению;

4) под руководством преподавателя выполнить эксперимент;

5) провести необходимые расчеты (каждый студент выполняет расчеты самостоятельно);

6) оформить протокол испытаний;

7) отчитаться по проведенной работе.

В процессе выполнения необходимо принять меры к уменьшению погрешностей измерений и вычислений, причинами которых могут быть: неточность изготовления или установки образцов, погрешности измерительной аппаратуры, случайные ошибки и др. Образцы, применяемые при испытаниях, следует тщательно измерять, при расчетах учитывать не проектные, а действительные размеры. Неточность установки образца можно устранить применением образцов симметричной формы, осреднением результатов показаний двух приборов, установленных по обе стороны от плоскости симметрии. Чтобы избежать случайных ошибок, опыт повторяется несколько раз. В качестве окончательного результата используется средняя арифметическая величина.

Все расчеты должны проводиться с точностью до единицы третьей значащей цифры. Такую точность дает, в частности, логарифмическая линейка. Графики и чертежи рекомендуется выполнять с учетом требований ЕСКД.

Особое внимание следует обращать на соблюдение правил техники безопасности. При выполнении лабораторных работ в лаборатории «Испытание материалов» студент ОБЯЗАН:

1) в начале каждого семестра прослушать вводный инструктаж по технике безопасности и расписаться в журнале инструктажа;

2) перед началом каждой лабораторной работы прочитать инструкцию по технике безопасности для данной работы;

3) при получении инструмента у дежурного лаборанта убедиться в его исправности;

4) перед проведением лабораторной работы совместно с дежурным лаборантом проверить исправность лабораторной установки или испытательной машины, контурного заземления, кнопок «Пуск», «Стоп», системы подвески грузов, ограждений;

5) проводить лабораторную работу с разрешения и под руководством преподавателя или дежурного лаборанта;

б) после окончания работы сдать инструмент и лабораторную установку дежурному лаборанту, привести рабочее место в порядок.

ЗАПРЕЩАЕТСЯ:

- 1) проведение лабораторных работ студентами, не прошедшими инструктаж по технике безопасности;
- 2) включение машин и работа на установках без разрешения преподавателя или дежурного лаборанта;
- 3) работа без предусмотренных инструкциями ограждений, вход за ограждения, их съём и установка.

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

УНИВЕРСАЛЬНАЯ ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ МАШИНА ЦНИИМАШ 10

Данная машина предназначена для статических испытаний на растяжение, сжатие, изгиб и сдвиг силой до 10 т (100 кН). На ней могут проводиться и другие виды испытаний при наличии специальных приспособлений.

Схема универсальной испытательной машины ЦНИИМАШ-10 гидравлического действия изображена на рис. 1. Масляный насос высокого давления 1 приводится в действие при помощи электродвигателя. По трубопроводу 2 масло подается в рабочий цилиндр и давит на поршень 8. Поршень, поднимаясь вверх, перемещает перекладку 9 и связанную с ней при помощи двух тяг подвижную траверсу 12, на которой закреплены нижняя опора 11 и верхний захват 13. Рама машины состоит из чугунного основания 17, в котором заделаны две колонны, жестко связанные наверху перекладной. На перекладине укреплены рабочий цилиндр и верхняя опора 10. При рабочем ходе расстояние между опорами 10, 11 уменьшается, поэтому между ними проводится испытание на сжатие и другие испытания, требующие сближения опор.

Захваты 13, 14 предназначены для испытания на растяжение, так как при рабочем ходе расстояние между ними увеличивается. Один конец образца вставляется в верхний захват 13, закрепленный на подвижной траверсе 12, и зажимается клиновым замком. С помощью механизма подачи 16

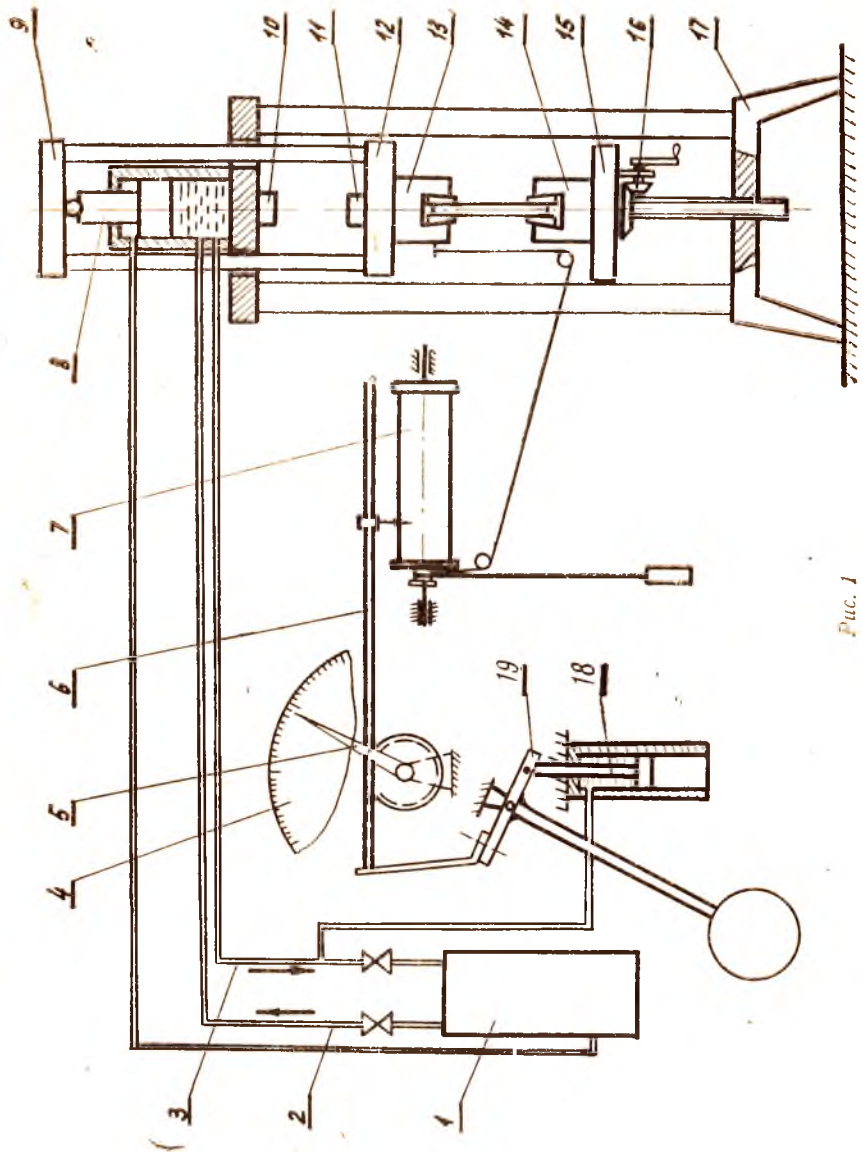


Рис. 1

нижний захват 14 с опорой 15 подводится к нижнему концу образца и также зажимается клиновым замком.

Для измерения растягивающей или сжимающей нагрузки применяется маятниковый динамометр. Рабочий цилиндр соединен трубопроводом 3 с цилиндром динамометра. Поршень этого цилиндра при помощи тяги 18 соединен с кривошипом 19 тяжелого маятника. В процессе нагружения пропорционально нагрузке растут давление масла и момент силы тяги относительно оси маятника, который уравнивается моментом силы тяжести маятника. При небольших углах отклонения маятника во время испытаний, эти углы пропорциональны растягивающей или сжимающей нагрузке.

При повороте маятника прикрепленный к нему толкатель перемещает рейку 6. С рейкой при помощи зубчатой передачи связана стрелка динамометра 5, показывающая на шкале 4 величину нагрузки.

Для записи диаграммы растяжения — графика зависимости между нагрузкой P и абсолютным удлинением Δl — применяется записывающее устройство. К рейке 6 прикрепляется карандаш, кончик которого опирается на бумагу, накрученную на барабан 7. При нагружении карандаш перемещается вдоль оси цилиндра, фиксируя величину нагрузки. Абсолютное удлинение образца Δl , равное перемещению подвижной траверсы, фиксируется поворотом барабана, приводимого в движение нитью, один конец которой прикреплен к подвижному захвату, а другой посредством блоков перекинут через шкив барабана и нагружен гирей. При вращении барабана и одновременном перемещении карандаша на бумаге вычерчивается кривая, ординаты которой пропорциональны нагрузке, абсциссы — абсолютному удлинению образца. Масштаб удлинений равен отношению диаметра барабана к диаметру шкифа и составляет для данной машины 5:1 или 2:1 в зависимости от того, через какой шкив переброшена нить. Масштаб нагрузки определяется отношением величины максимальной нагрузки, зафиксированной по шкале динамометра, к соответствующей ординате на диаграмме $P - \Delta l$.

УНИВЕРСАЛЬНАЯ ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ МАШИНА УМ-5А

Машина УМ-5А с максимальным усилием 5 т (50 кН) предназначена для статических испытаний на растяжение.

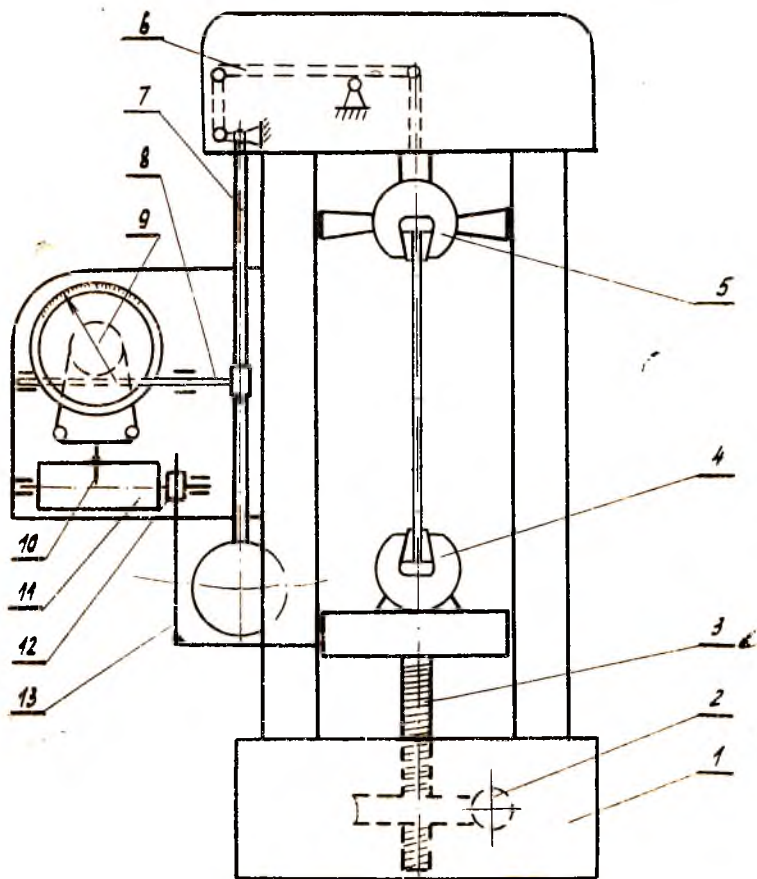


Рис. 2

При наличии специальных приспособлений на ней могут проводиться также испытания на сжатие, изгиб и срез. Эта машина, схема которой представлена на рис. 2, имеет механический привод, работающий от руки или от электродвигателя. Вращение передается на червячную пару 2, смонтированную в станине 1. В ступицу червячного колеса ввинчивается ходовой винт 3, на котором закреплен нижний захват 4 машины. При опускании захвата 4 происходит растяжение образца. Усилие, возникшее в образце, передается через верхний захват 5 рычагу 6 маятникового силоизмерителя 7. Растягивающее усилие создается весом отклоненного маятника. Отклонение маятника передается через рейку 8 зубчатому колесу 9, соединенному со стрелкой силоизмерителя. Зубчатое колесо 9 имеет блок, на котором намотана гибкая нить, предназначенная для перемещения карандаша 10. Перемещение карандаша вдоль оси барабана 11 пропорционально нагрузке P . Рейка 13, соединенная с подвижным захватом машины 4, при помощи зубчатого колеса 12 вращает диаграммный барабан 11, угол поворота которого пропорционален удлинению образца. При растяжении образца карандаш вычерчивает график зависимости нагрузки P от абсолютного образца ΔL .

*ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ МАШИНА *ФИРМЫ
«ЛОЗЕНГАУЗЕН»*

Данная машина с максимальным усилием 5 т (50 кН) предназначена для статических испытаний на растяжение. Испытания на сжатие, срез или изгиб могут проводиться на машине только при наличии специальных приспособлений.

Схема машины дана на рис. 3. Машина состоит из станины 1, опорных колонн 2 и верхней неподвижной траверсы 5, на которых смонтированы механизм нагружения и силоизмерительное устройство. С помощью червячной пары в ступицу червячного колеса ввинчивается ходовой винт 12, перемещающий нижний захват 3. Верхний захват 4 с помощью троса соединен с верхней траверсой 6, которая опирается на поршень 7. Поршень действует на мембрану 8, закрывающую полость, заполненную глицерином. В процессе нагружения под мембраной в жидкости возникает давление, пропорциональное нагрузке. Полость с жидкостью соединена при помощи трубопровода 9 с манометром 10, который показывает величину нагрузки, действующей на образец 11.

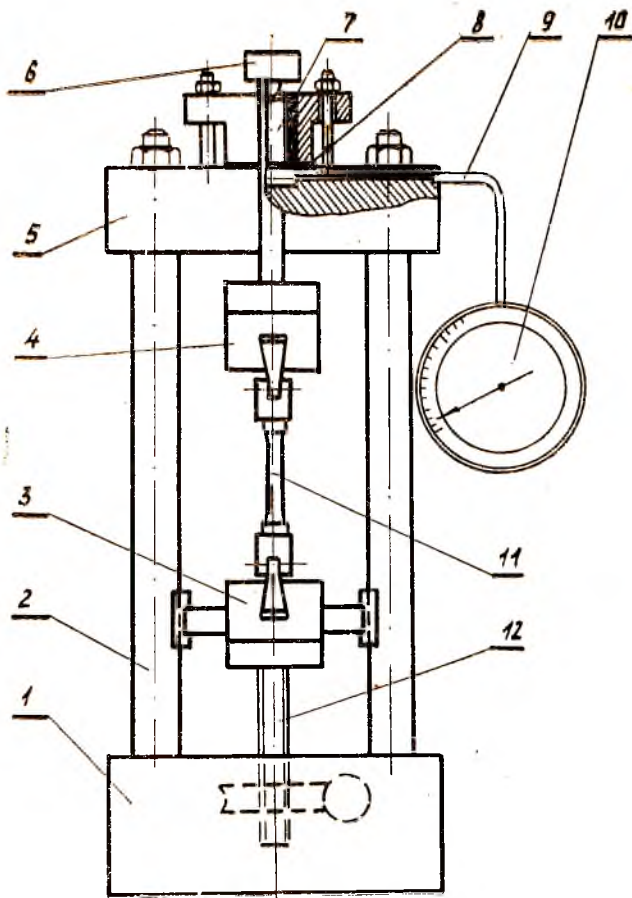


Рис. 3

УНИВЕРСАЛЬНАЯ ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ
МАШИНА УМ-10

Данная машина предназначена для испытаний на растяжение и сжатие при статическом и циклическом действии нагрузки, а также для испытаний на ползучесть усилием до 10 т (100 кН).

Принципиальная схема машины дана на рис. 4. Основание 1 колонны 2 и верхняя траверса 8 образуют жесткую ра-

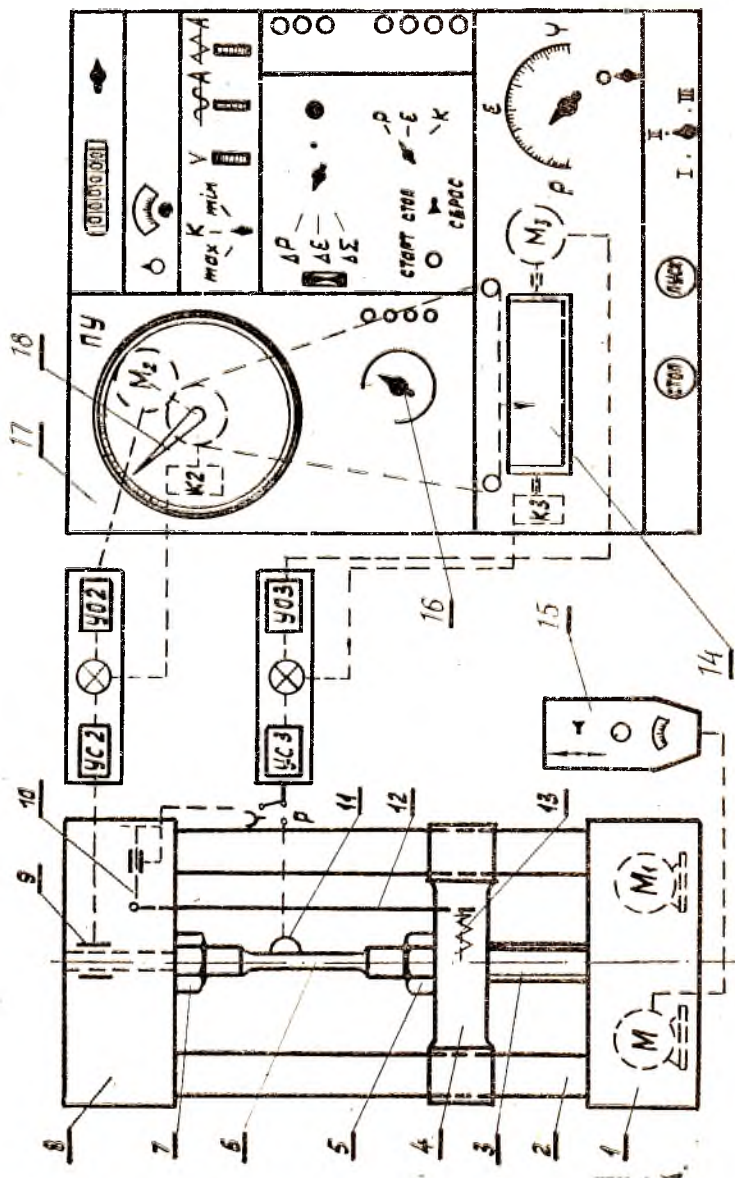


Рис. 4

му машины. В верхней траверсе установлен датчик силы 9, представляющий собой полый цилиндр с наклеенными фольговыми тензорезисторами. Заодно с датчиком силы выполнен верхний захват 7. К верхней траверсе крепится датчик перемещений, состоящий из балочки 10 с наклеенным тензорезистором и тяги 12. Включение датчика производится с помощью электромагнита 13, который соединяет тягу со столом 4. Датчик деформации 11 устанавливается непосредственно на образце 6. Растяжение образца осуществляется при перемещении активного захвата 5, закрепленного на столе. Стол перемещается на направляющих втулках по колоннам при помощи ходового винта 3. Движение винту сообщается через червячную пару от двигателя M или M_1 . При установочном ходе вращение червяка передается от двигателя M с помощью клиноремной передачи. Управление двигателем установочного хода осуществляется тумблером на переносном пульте управления 15. При рабочем ходе вращение червяку передается от двигателя M_1 через коробку передач, которая обеспечивает три диапазона скоростей нагружения. Включение нужного диапазона скоростей перемещения стола производится тумблером со значками I, II, III на пульте управления 17.

Измеритель силы представляет собой автокомпенсатор переменного тока. Выходной сигнал датчика силы 9 поступает на вход согласующего усилителя УС2, складывается с сигналом компенсационного моста К2 и поступает на вход усилителя ошибки УО2. К выходу этого усилителя подключен серводвигатель M_2 . Он регулирует компенсационный мост, устраняя сигнал рассогласования. При этом двигатель вращает стрелку указателя силы 18 и с помощью тросика перемещает карандаш диаграммного устройства 14. Под шкалой силы на пульте управления расположен переключатель диапазонов измерения силы 16. Он подключает различные постоянные сопротивления к входу согласующего усилителя УС2, регулируемому коэффициенту усиления, причем каждому диапазону силы соответствует своя шкала.

Измерение деформации (или перемещения) производится аналогично измерению силы, только в этом случае серводвигатель M_3 вращает барабан диаграммного устройства. Переключение выходов датчиков деформации и перемещения осуществляется переключателем $P-\psi$ на пульте управления. Этот переключатель одновременно устанавливает масштабы записи измеряемой деформации (перемещения).

МАШИНА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ НА
КРУЧЕНИЕ КМ-50-1

Машина КМ-50-1 предназначена для испытания на кручение прямолинейных образцов при статическом действии момента, максимальная величина которого составляет 50 кгм (500 Нм).

Схема машины изображена на рис. 5. Машина состоит из чугунной станины 1, на которой установлены две колонны,

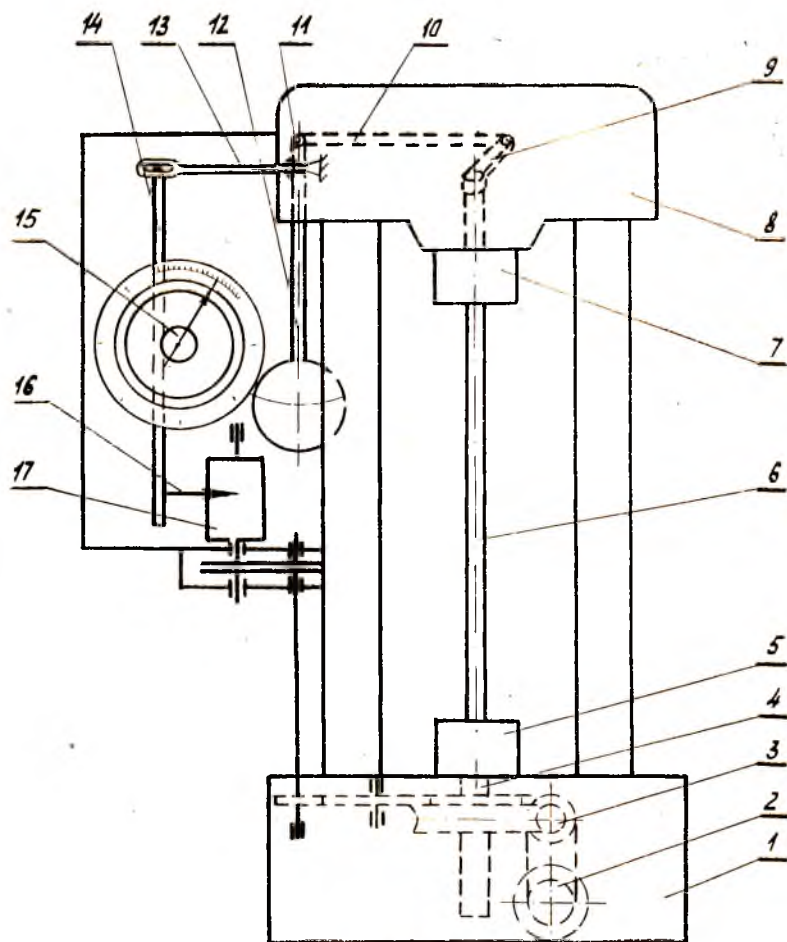


Рис. 5

соединенные верхней неподвижной перекладной 8. Чугунная станина одновременно служит корпусом привода.

Нагрузка производится при помощи электромотора 2 через червячную пару 3. К ступице 4 червячного колеса прикреплен нижний захват 5, передающий момент образцу 6. С образца момент передается верхнему неподвижному захвату 7, который через горизонтальный кривошип 9 соединен тягой 10 с втулкой-кривошипом 11 маятника 12. Момент силы тяги уравнивается моментом силы тяжести маятника 12, благодаря чему момент на образце пропорционален углу поворота маятника. На оси маятника закреплен рычаг 13, который перемещает рейку 14, приводящую в движение шестерню 15 и стрелку динамометра. Перемещение рейки и стрелки пропорционально углу поворота маятника и, следовательно, пропорционально крутящему моменту.

Для записи графика зависимости между крутящим моментом и углом закручивания на рейке укреплен карандаш 16, опирающийся на поверхность барабана 17. Поворот нижнего подвижного захвата, равный углу закручивания, передается при помощи зубчатой передачи барабану. В процессе нагружения карандаш вычерчивает кривую, ординаты точек которой пропорциональны крутящему моменту M , а абсциссы пропорциональны углу закручивания. Масштаб момента можно найти как отношение показания динамометра к соответствующей ординате, а масштаб угла закручивания равен передаточному числу зубчатой передачи.

МАШИНА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ НА УСТАЛОСТЬ ПРИ ЧИСТОМ ИЗГИБЕ МУИ-6000

Машина МУИ-6000 предназначена для испытания на усталость при чистом изгибе вращающегося образца.

Технические характеристики: нагрузка на образец 10—100 кг (100—1000 Н); наибольший изгибающий момент 500 кг см (50 Нм); частота нагружения 100 Гц; образцы цилиндрические с головками $\varnothing 12, 17$ по ГОСТ 2860-45 или специальные.

Конструкция машины показана на рис. 6. Все механизмы смонтированы на литой чугунной станине. Испытываемый образец 11 закрепляется в шпindelных бабках 8. На корпусах бабок находятся цапфы 10, через которые с помощью серег 9 передаются силы от механизма нагружения. Левая баб-

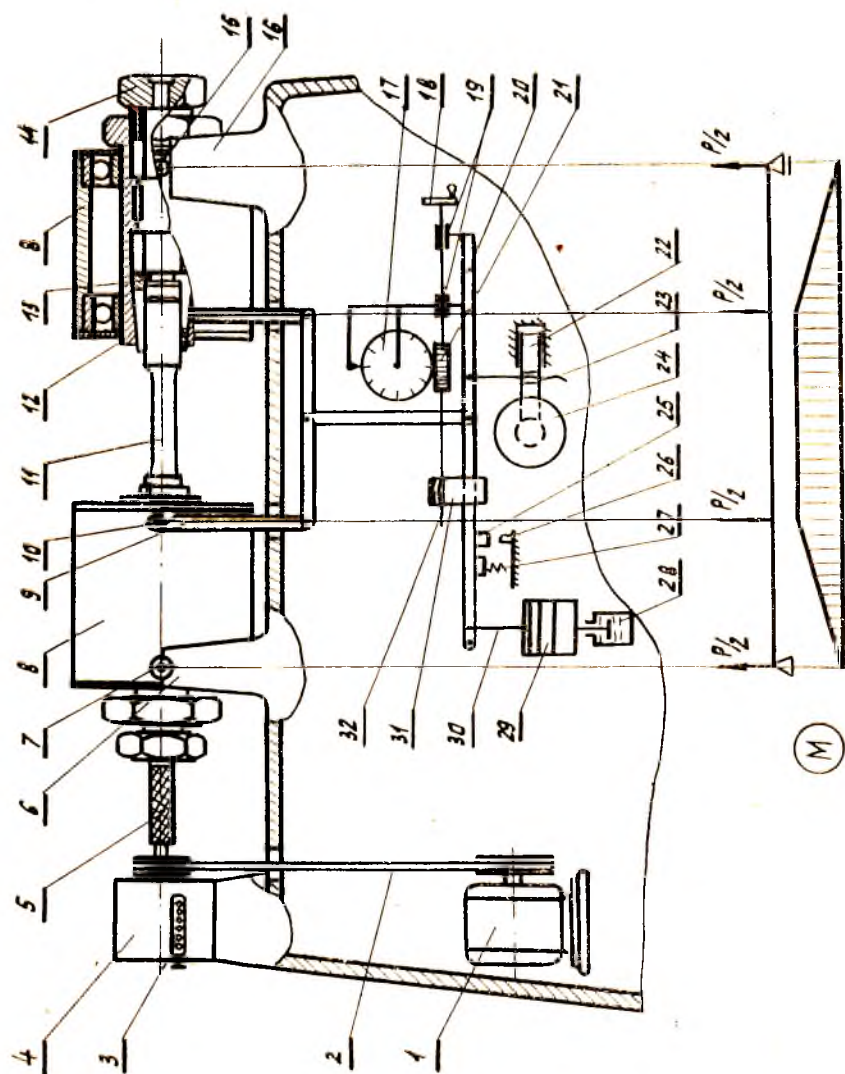


Рис. 6

ка опирается на стойки 6 через подшипники 7, правая — на стойки 16 через подвижные подшипники 15. В корпусе каждой бабки помещается шпиндель 12, имеющий внутри конусную цангу 13. В цанге зажимается головка испытуемого образца. Зажим цанги производится путем поворота гайки 14. Вращение левого шпинделя и, следовательно, образца, осуществляется электродвигателем 1 через клиноременную передачу 2 и гибкий валик 5. Число оборотов (циклов) фиксируется счетчиком 3, закрепленным на корпусе червячного редуктора 4 с передаточным отношением 1:100.

Механизм нагружения обеспечивает создание необходимого изгибающего момента на испытываемом образце. Схема нагружения и эпюра изгибающего момента показаны на рис. 6 внизу. Механизм нагружения состоит из грузового рычага 20, шарнирно связанного с серьгами 9, через которые передается нагрузка на шпиндельные бабки. На рычаге 20 закреплены два подшипника скольжения 19, в которых вращается гладкий конец винта 32. При вращении этого винта маховиком 18 груз 31 перемещается по рычагу 20 и одновременно через червячную пару 21 обеспечивается поворот шкалы нагрузок 17, которая указывает нагрузку на серьги, создаваемую только подвижным грузом 31. Эта нагрузка изменяется в пределах 10—20 кг (100—200 Н). Нагрузку более 20 кг (200 Н) можно создать с помощью сменных грузов 29 на подвеске 30. Приложение нагрузки производится путем вращения маховика 24, который через червячную пару 22 опускает винт 23, связанный с грузовым рычагом машины. При разрушении образца рычаг опускается на амортизатор 27 и одновременно действует упором 25 на микропереключатель 26. Последний выключает электродвигатель. Успокоитель 28 поглощает вибрации грузового рычага при работе машины.

СТРЕЛОЧНЫЙ ИНДИКАТОР

Стрелочный индикатор предназначен для непосредственного измерения линейных перемещений, схема его представлена на рис. 7.

Основанием прибора является корпус 9, внутри которого в диаметральной плоскости помещается мерительный стержень 8 с нарезанными зубьями, образующими зубчатую рейку 7. При поступательном движении мерительного стержня зубья рейки приводят во вращение систему зубчатых колес (2,

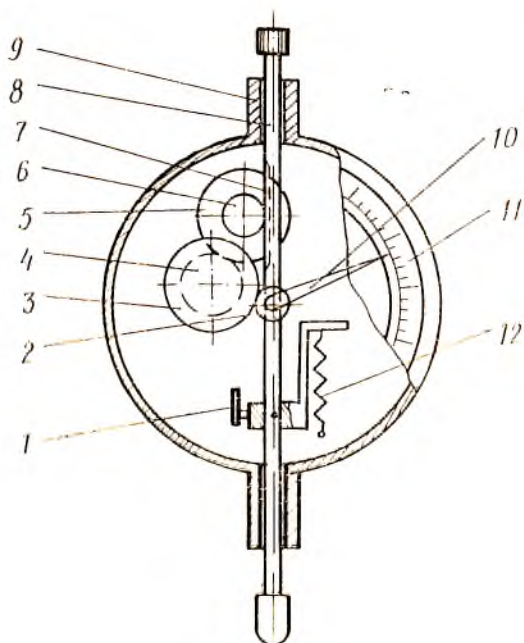


Рис. 7

3, 4, 5, 6). На оси последнего зубчатого колеса 2 закреплена указательная стрелка 10, передвигающаяся по круговому циферблату 11. Передаточные числа системы зубчатых колес подобраны таким образом, что при перемещении мерительного стержня на 0,01 мм стрелка передвигается на одно деление кругового циферблата, разбитого на 100 частей. Следовательно, при перемещении мерительного стержня на 1 мм указательная стрелка описывает полный круг.

На оси зубчатых колес 5 и 6 укреплена малая стрелка (на рис. 7 не показана). Малая стрелка совершает один оборот при перемещении мерительного стержня на 1,0 мм. Циферблат малой стрелки разбит на 10 делений; цена одного деления 1 мм. Таким образом, стрелочный индикатор измеряет линейные перемещения до 10 мм с точностью 0,01 мм. Выпускаются также индикаторы с ценой деления 0,001 мм.

Для согласования движения большой и малой стрелок прибора мерительный стержень перемещают до тех пор, пока

малая стрелка не остановится на каком-либо делении своего циферблата. Затем поворачивают подвижный круговой циферблат до совпадения его нулевого деления с концом указательной стрелки, после чего отпускают мерительный стержень. Рамка 1 служит для предотвращения проворачивания мерительного стержня. К рамке крепится пружинка 12, оттягивающая мерительный стержень в крайнее положение.

РЫЧАЖНЫЙ ТЕНЗОМЕТР

Рычажный тензометр (рис. 8) предназначен для измерения линейных деформаций. Такой тензометр обычно имеет базу 20 мм (у некоторых моделей 10 мм). Присоединением специального удлинителя база может быть увеличена до нужных размеров в пределах 50—1000 мм.

Прибор прижимается к испытываемой детали при помощи струбицы, которая на рисунке не показана. Расстояние между нижним ребром призмы 7 и острием ножа 1 является базой прибора 1. Жесткая рамка прибора 3 вместе с призмой 7 составляет часть прибора, воспринимающую деформацию.

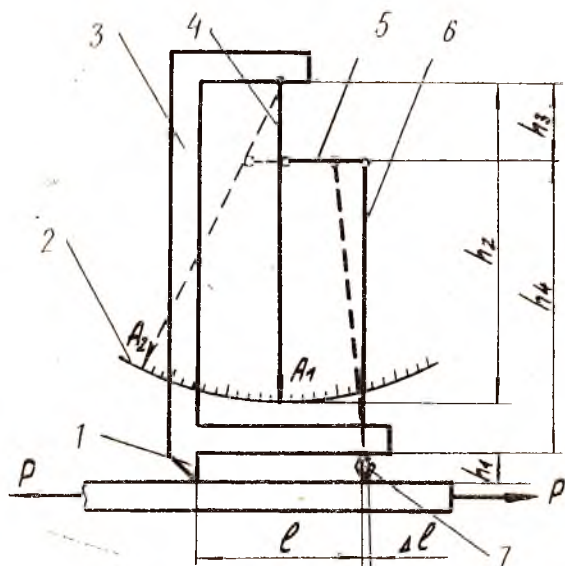


Рис. 8

Частью прибора, увеличивающей перемещение, являются рычаг 6, жестко соединенный с призмой 7, и стрелка 4, шарнирно прикрепленная к раме. По шкале 2 производятся отсчеты.

При изменении длины l (базы прибора) на величину Δl произойдет поворот призмы 7 вокруг ее верхнего ребра. Вместе с призмой на тот же угол повернется рычаг 6 и при помощи тяги 5 отклонит стрелку 4. Вследствие поворота стрелки 4 нижний конец ее переместится по шкале 2 из положения A_1 в положение A_2 . Разность отсчетов ΔA по шкале пропорциональна удлинению Δl . Коэффициент увеличения K зависит от соотношения плеч рычагов 6 и 4 и определяется выражением

$$K = \frac{\Delta A}{\Delta l} = \frac{h_2 h_4}{h_1 h_3}.$$

Обычно коэффициент увеличения рычажного тензометра составляет 1000—1200, величина его для каждого прибора указывается в паспорте.

Зная коэффициент увеличения прибора, по разности отсчетов можно определить абсолютное удлинение

$$\Delta l = \frac{\Delta A}{K},$$

а затем и относительное удлинение

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{\Delta A}{Kl}.$$

ИЗМЕРИТЕЛЬ ДЕФОРМАЦИИ ЦТМ-3

Цифровой тензометрический мост ЦТМ-3 предназначен для измерения статических деформаций деталей при помощи тензорезисторов. В комплекте с переключателем тензорезисторов ПД-100М и печатающим устройством СД-107Д прибор позволяет выполнять измерения в ручном или автоматическом режимах в 100 точках.

Основные технические данные ЦТМ-3: класс точности — 0,2; диапазон измеряемых деформаций при коэффициенте тензочувствительности $K = 2$ — от $1 \cdot 10^{-5}$ до $999 \cdot 10^{-5}$; время одного измерения — не более 1,4 с; сопротивление применяемых тензорезисторов — от 50 до 400 Ом; потребляемая мощность — не более 120 Вт.

Электрическая схема показана на рис. 9. Она представляет собой измерительный мост, работающий по нулевому ме-

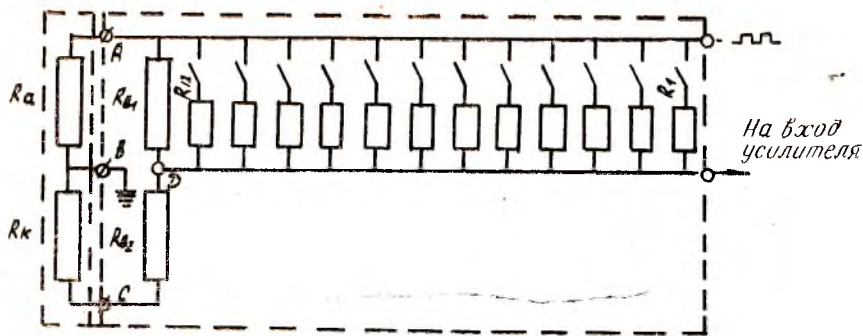


Рис. 9

тому. Постоянные сопротивления $R_{в1}$ и $R_{в2}$ составляют внутренний полумост. Рабочий R_a и компенсационный R_k тензорезисторы образуют внешний полумост, который подключается с помощью переключателя ПД-100. Уравновешивание моста осуществляется путем параллельного подсоединения к плечу АД компенсирующих сопротивлений $R_1 - R_{12}$. Сопротивления подключаются поочередно, начиная с самого малого. При включении каждого компенсирующего сопротивления специальная логическая схема анализирует результат — недокомпенсацию или перекомпенсацию моста — и в зависимости от этого оставляет сопротивление подключенным или отключает его. Когда мост сбалансирован, дешифратор анализирует положение переключателей компенсирующих сопротивлений и через блок индикации выдает результат в виде трехзначного числа. На световом табло прибора появляются два числа. Одно из них, двухзначное, указывает номер рабочего датчика, другое, трехзначное, представляет сигнал от опрашиваемого датчика.

Если коэффициент тензочувствительности тензорезистора $K = 2$, то цена единицы показания прибора $\epsilon = 1 \cdot 10^{-5}$. При другом коэффициенте тензочувствительности тензодатчика прибор необходимо тарировать.

Чтобы измерять деформации разного знака, сопротивление $R_{в1}$ выбрано меньше $R_{в2}$, поэтому при отсутствии деформации рабочего тензорезистора имеется разбаланс моста, соответствующий показанию прибора в 500 единиц.

Величина деформации определяется по разности показаний прибора до и после деформации датчика.

МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ

Механические характеристики материалов используются в расчетах на прочность, жесткость и устойчивость. Все характеристики определяются путем стандартных испытаний в соответствии с ГОСТ 1493-73 и другими нормативами.

Ниже в таблицах приводятся некоторые основные механические характеристики различных материалов, где

σ_B — временное сопротивление;

$\sigma_T, \sigma_{0,2}$ — физический и условный пределы текучести при растяжении;

τ_T — предел текучести при кручении;

E — модуль продольной упругости;

$\delta\%$ — относительное удлинение после разрыва;

$\psi\%$ — относительное сужение после разрыва;

$\sigma_{-1p}, \sigma_{-1}, \tau_{-1}$ — предел выносливости при растяжении, изгибе, кручении в случае симметричного цикла напряжений.

В таблицах напряжение приведено в кг/мм^2 . Для перехода в международную систему единиц следует учесть, что $1 \text{ кг/мм}^2 = 9,81 \text{ МПа}$.

Механические характеристики углеродистых сталей

Марка стали	σ_B , кг/мм ²	$\sigma_{0.2}$, σ_T кг/мм ²	σ_T , кг/мм ²	σ_{-1p} , кг/мм ²	σ_{-1} , кг/мм ²	τ_{-1} , кг/мм ²	$E \cdot 10^{-4}$, кг/мм ²	δ , %	ψ , %	Термообра- ботка
10, Ст. 1	32—42	18	14	12—15	16—22	8—12	2—2,1	31	55	Норма- лизация
15, Ст. 2	35—45	20	14	12—16	17—22	8,5—13	—	—	—	—
20, Ст. 3	40—50	22	16	12—16	17—22	10—13	—	36	67	—
25, Ст. 4	43—55	24	—	—	19—25	—	—	—	—	—
30	48—60	26	17	17—21	20—27	11—12	—	—	—	—
35, Ст. 5	52—65	28	19	17—22	22—30	13—18	—	—	—	—
45, Ст. 6	60—75	32	22	19—25	25—34	15—20	—	17	45	—
50	63—80	34	—	—	27—35	16—20	—	—	—	—
45Г2	70—90	40	—	—	31—40	—	—	—	—	—
60Г	67—78	34	—	25—32	—	—	—	—	—	—
0,8 КП	30	23	—	—	—	—	—	42	66	—
10 КП	51	33	—	—	—	—	—	32	75	—

Таблица 2

Механические характеристики легированных сталей

Марка стали	σ_B , кг/мм ²	$\sigma_{0,2}$, кг/мм ²	σ_T	τ_T , кг/мм ²	δ_{10} , кг/мм ²	δ_{50} , кг/мм ²	τ_{-1} , кг/мм ²	$E \cdot 10^{-4}$, кг/мм ²	δ , %	ψ , %	Термообработка
20X	80	60						2—2,1			Закалка, отпуск 600°C
40X	100	80	25	35—38	38	22,5	22,5	2,1	9		Закалка в масле, отпуск
40XН	90	75	29	39	40	24	24	2,0			— ₃ — — ₃ — — ₃ — — ₃ —
50XН	110	85			55			— ₃ — — ₃ — — ₃ — — ₃ —			— ₃ — — ₃ — — ₃ — — ₃ —
30XMA	95	75			47			— ₃ — — ₃ — — ₃ — — ₃ —			— ₃ — — ₃ — — ₃ — — ₃ —
12XНЗА	95	70	27—32	40	30—47	22—26	22—26	— ₃ — — ₃ — — ₃ — — ₃ —			Закалка на воздухе, отпуск
20XНЗА	95	75	30—32		43—45	25—26	25—26	— ₃ — — ₃ — — ₃ — — ₃ —			Закалка в масле, отпуск
18XНЗА	115	85	36—40		54—59	33—37	33—37	— ₃ — — ₃ — — ₃ — — ₃ —			Закалка в масле, отпуск
25XНЗА	110	95	31—36		46—54	28—31	28—31	— ₃ — — ₃ — — ₃ — — ₃ —			Закалка в масле, отпуск
30XГСА	110	85	50—54		51—54	22—25	22—25	— ₃ — — ₃ — — ₃ — — ₃ —	10	45	— ₃ — — ₃ — — ₃ — — ₃ —
40XHMA	110	95			33			— ₃ — — ₃ — — ₃ — — ₃ —	14	30	— ₃ — — ₃ — — ₃ — — ₃ —
X17	52	32						— ₃ — — ₃ — — ₃ — — ₃ —	28		— ₃ — — ₃ — — ₃ — — ₃ —
1X18H9T	63	26			28			1,9	53	66	Нормализация
XH77ПЮР (ЭИ437Б)	100	66						1,98	20	21	Старение

Механические характеристики легких сплавов

Сплав	Марка сплава	σ_B , кг/мм ²	$\sigma_{0,2}$, σ_T , кг/мм ²	σ_T , кг/мм ²	σ_{-1p} , кг/мм ²	σ_{-1} , кг/мм ²	σ_{-1} , кг/мм ²	$E \cdot 10^{-4}$, кг/мм ²	δ , %	ψ , %	Термообработка
Алюминиевые сплавы	АДТ	19	15					0,71	15	52	
	АЛ1	15—31	12—25			5,5—11			4		Закалка, старение
	АЛ4	26	20			7,5					
	ДЗГ	34	21			10		0,73	10	10	Закалка, старение
	Д16Т	45	34								
	Д18	30	17			9,5		0,66	7,3	13,4	Закалка, старение
	В95	61	57			17,5			10,5	9	Закалка, старение
	АК2	42	28			10			15		
	АК4	43	34								
	АК8	49	38								
Магневые сплавы	АМЦ	10—19	4—17			12—13					
	АМ2	18—27	10—25			5—7		0,8			
	АМГ6	37	16			12—14					
	Мл3	17—18	5,5								
	Мл5	15—27	8—12			5,5					
Титановые сплавы	МА1	21—30	12—20			7,5					
	МА3	30—34	22			13—15					
	МА5	30—34	19			13					
Титановые сплавы	ВТ1	60	33					1,17	15		Отжиг 700°C
	ВТ5	95	89					1,05	9,5	12,6	Отжиг 800°C

Таблица 4

*Механические характеристики конструкционных
неметаллических материалов*

Материал	$\sigma_{в}$, кг/мм ²	σ_{-1} , кг/мм ²	$E \cdot 10^{-3}$, кг/мм ²	δ , %	γ , г/см ³
Гетинакс Б	10	2—4			1,3—1,4
Текстолит ПТК	8—10	2			1,3—1,4
Дельта-древесина ДСП10	22—30	4—6			1,25—1,45
Стеклопластик АГ4С	12—16	9,5			
Стеклопластик Р49С	10—16	11,5			
Стеклопластик ЗЗ18С	12—18	12,5			
Стеклопластик КАСТ	21—33		1,2—2,1	2,5—3	
Стеклопластик КАСТ-В	20—32		1,1—2,0	2,5—3	1,85

Л И Т Е Р А Т У Р А

- Феодосьев В. Н.* Сопротивление материалов. — М.: Наука, 1974, 560 с.
Лабораторный практикум по курсу «Сопротивление материалов». Под ред. Е. С. Богданова. — Куйбышев: КуАИ, 1970. 80 с.
- Беляев Н. М.* Лабораторные работы по сопротивлению материалов. — М.: Гос. изд. технико-теоретич. литературы, 1954. 288 с.
- Афанасьев А. М., Марин В. А.* Лабораторный практикум по сопротивлению материалов. — М.: Наука, 1975. 288 с.
- Серенсен С. В., Косаев В. П., Шнейдерович Р. М.* Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность: Руководство и справочное пособие. Под ред. С. В. Серенсена. — М.: Машиностроение, 1975, 488 с.

Составители: *Станислав Иванович Иванов, Владимир Григорьевич Фокин,
Геннадий Федорович Мальков, Станислав Николаевич Янский*

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ
ПО СОПРОТИВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ

Редактор Т. К. Кретьнива
Техн. редактор Н. М. Каленюк
Корректор С. С. Рубан

Сдано в набор 7.05.81 г. Подписано в печать 9.07.81 г. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага оберточная белая. Литературная гарнитура. Высокая печать.
Усл. п. л. 1,1. Уч.-пзд. л. 1,3. Тираж 1500 экз. Заказ № 511. Бесплатно.

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