

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра механики материалов, конструкций и машин

Р.Н. Узяков, Е.В. Пояркова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ НА БОЛТЫ СТЫКА СОЕДИНЕНИЯ ПРИ ВНЕЦЕНТРЕННОМ ДЕЙСТВИИ НАГРУЗКИ

Методические указания

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика и 24.03.04 Авиастроение

Оренбург
2018

УДК 620.10
ББК 30.121
УЗ4

Рецензент – доцент, доктор технических наук Ю.А. Чирков

- УЗ4 **Узяков, Р.Н.**
Определение характера распределения нагрузки на болты стыка соединения при внецентренном действии нагрузки: методические указания / Р.Н. Узяков, Е.В. Пояркова; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2018. – 19 с.

В методических указаниях представлено описание лабораторного практикума по теме «Расчет болтовых соединений».

Настоящие методические указания предназначены обучающимся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика и 24.03.04 Авиастроение, осваивающим дисциплины «Сопrotивление материалов», «Дефекты и повреждения деталей и конструкций летательных аппаратов», «Детали машин».

Методические указания подготовлены в рамках реализации проектов по совершенствованию содержания и технологий целевого обучения студентов в интересах организаций оборонно-промышленного комплекса («Новые кадры ОПК–2017»).

УДК 620.10
ББК 30.121

© Узяков Р.Н.,
Пояркова Е.В., 2018
© ОГУ, 2018

Содержание

Введение	4
1 Лабораторно-практическая работа «Определение характера распределения нагрузки на болты стыка соединения при внецентренном действии нагрузки» ..	5
2 Краткие теоретические сведения	5
3 Изучение конструкции и возможностей лабораторного оборудования	9
3.1 Машина ДМ-30А	9
3.2 Приспособление ДМ-39	12
3.3 Ключ предельного момента	14
4 Выполнение лабораторно-практической работы	15
4.1 Подготовка к испытаниям	15
4.2 Проведение испытаний	15
5 Контрольные вопросы	17
Список рекомендованных источников	18

Введение

Дисциплины, связанные с изучением принципов расчета и конструирования различных деталей машин и оборудования, представляют собой основу общетехнической подготовки обучающихся направлений подготовки 24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика и 24.03.04 Авиастроение.

«Соппротивление материалов» и «Детали машин» – это дисциплины общетехнической подготовки обучающихся по теории, расчету и конструированию составных частей летательных аппаратов различного назначения (разнообразных деталей и узлов). Основными задачами изучения этих предметов являются обобщение инженерного опыта создания авиационных конструкций, разработка научных основ расчета и проектирования надежных элементов и узлов конструкции.

При изучении вышеперечисленных дисциплин обучающиеся расширяют свои знания в производственно-конструкторской деятельности в области проектирования деталей и узлов авиационного и космического применения. Материалы дисциплин содержат сведения о конструкциях, типаже критериев работоспособности деталей машин, сборочных единиц и агрегатов; об основе теории совместной работы (сопряжении) деталей машин и методов их расчета.

Настоящие указания к лабораторно-практической работе по теме «Определение характера распределения нагрузки на болты стыка соединения при внецентренном действии нагрузки» представляют собой часть методического обеспечения интерактивных занятий, входящих в цикл лабораторного практикума, способствующего углублению и закреплению теоретических знаний студентов и развитию их навыков экспериментирования (в том числе получения эмпирических зависимостей с целью прогнозирования возможного появления дефектов и повреждений деталей и конструкций летательных аппаратов).

1 Лабораторно-практическая работа «Определение характера распределения нагрузки на болты стыка соединения при внецентренном действии нагрузки»

Цель работы – определение характера распределения нагрузки на болты стыка соединения при нецентральной приложении силы.

Оснащение работы:

- машина ДМ-30А;
- приспособление ДМ-39;
- резьбовое соединение – болт М16-8q (6 штук);
- две детали с размерами поверхности стыка 110 x 86 мм;
- ключ предельного момента.

2 Краткие теоретические сведения

После затяжки болтов на стыке деталей соединений появляются равномерно распределенные сжимающие напряжения:

$$\sigma_{зат} = z \cdot F_{зат} / A_{см}, \quad (1)$$

где $F_{зат}$ – сила затяжки болта;

$z = 6$ – число болтов;

$A_{см} = a \cdot b$ – площадь стыка деталей.

Приложение внешней силы F приводит к изменению сил в болтах и напряжений на стыке соединения.

Для расчета изменений внешнюю нецентральную силу заменяют центральной силой F и моментом $M = F \cdot L$, при этом силу прилагают к центру тяжести стыка деталей (рисунок 1), и в стыке дополнительно появляются

равномерно распределенные по стыку напряжения σ_p (от действия центральной силы) и напряжения σ_M (от изгибающего момента $M = F \cdot L$), изменяющиеся по закону треугольника:

$$\sigma_p = (1 - \chi) \cdot F / A_{cm}; \quad (2)$$

$$\sigma_M = (1 - \chi) \cdot M / W_{cm}, \quad (3)$$

где χ – коэффициент основной нагрузки (для стальных стыков равен 0,2...0,3);

$W = v \cdot a^2 / 6$ – момент сопротивления площади стыка изгибу.

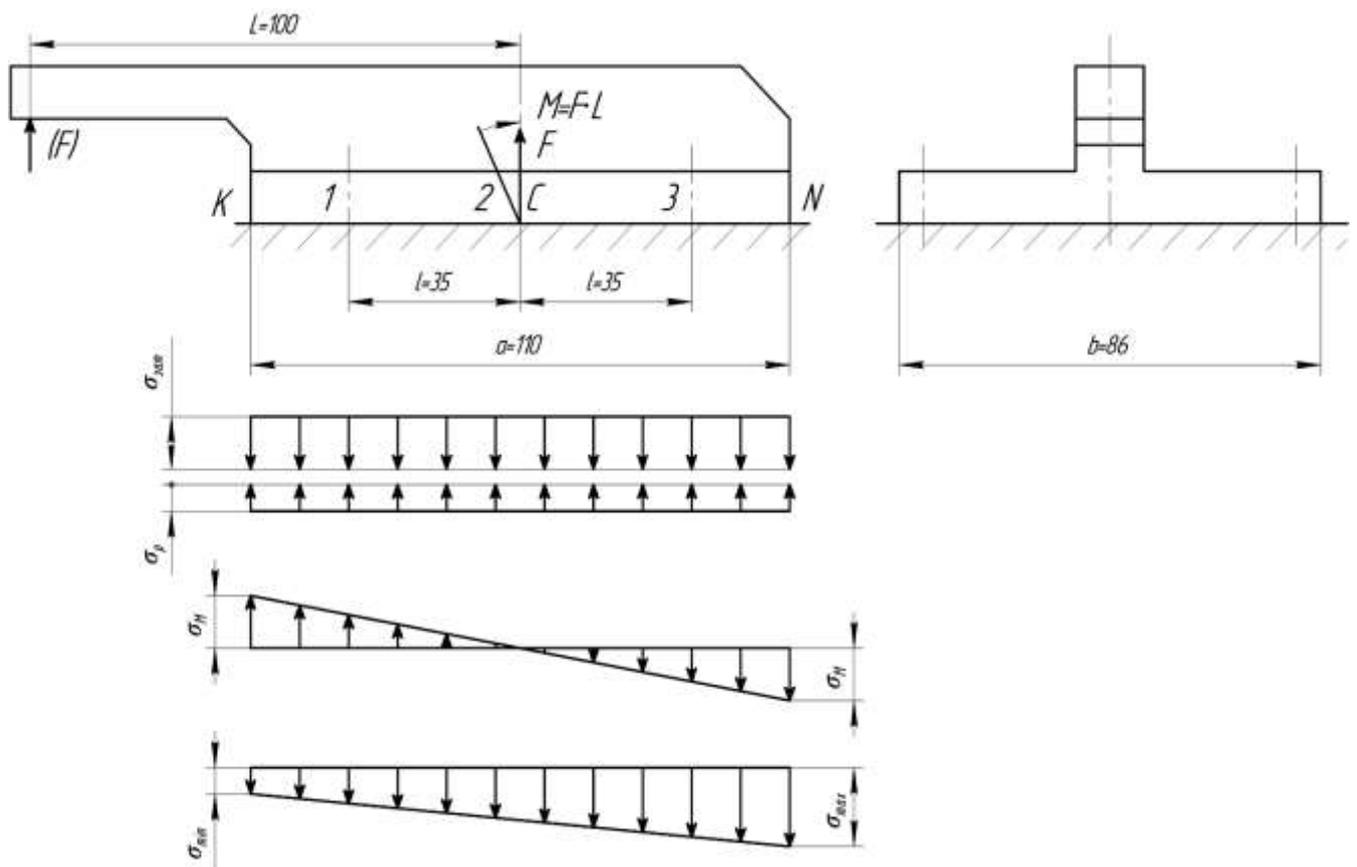


Рисунок 1 – Эпюры напряжений на стыке деталей

Наименьшие суммарные нормальные напряжения сжатия в стыке действуют у грани K :

$$\sigma_{min} = \sigma_{зам} - \sigma_p - \sigma_M, \quad (4)$$

наибольшие – у грани N :

$$\sigma_{max} = \sigma_{зам} - \sigma_p + \sigma_M. \quad (5)$$

Считается, что стык соединения не раскрывается, если после приложения к соединению нагрузки в любой точке стыка суммарные напряжения останутся сжимающими, то есть условие нераскрытия стыка выглядит следующим образом:

$$\sigma_{min} \geq 0.$$

Условие прочности деталей стыка определяется зависимостью:

$$\sigma_{max} \leq [\sigma]_{см},$$

где $[\sigma]_{см}$ – допустимые напряжения смятия для менее прочной детали соединения.

Для рассматриваемого соединения распределение сил между болтами соединения определяется следующим образом (рисунок 2).

В начальный момент все болты растянуты одинаковой силой $F_{зам}$.

После приложения центральной силы F каждый болт дополнительно растягивается силой $F_p = \chi \cdot F / z$.

Действие момента $M = F \cdot L$ выражается в том, что болты первого ряда дополнительно растягиваются, нагрузка болтов второго ряда не меняется, нагрузка на болты третьего ряда уменьшается на столько же, на сколько увеличилась нагрузка на болты первого ряда.

Дополнительно возникающие в болтах силы от действия момента, раскрывающего стык, прямо пропорциональны расстоянию от нейтральной оси поворота. Для наиболее удаленных болтов нагрузка от момента будет равна

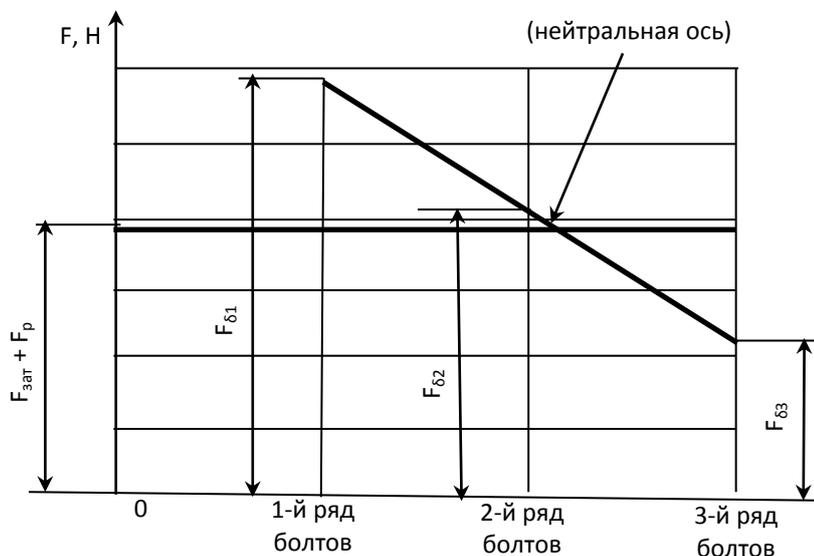


Рисунок 2 – Положение оси поворота сечений стыка

$$F_M = \chi \cdot M \cdot l_{max} / \sum l_i^2, \quad (6)$$

где l_{max} – расстояние от нейтральной оси до наиболее удаленного болта, в данном случае это болты первого ряда и $l_{max} = l$ (рисунок 1);

l_i – расстояние от нейтральной оси до i -го болта.

Для данного случая у болтов первого ряда $l_1 = l$; у болтов второго ряда $l_2 = 0$; у болтов третьего ряда $l_3 = l$, а число болтов в ряду два и тогда

$$\sum l_i = 2l_1^2 + 2l_2^2 + 2l_3^2 = 4l^2.$$

Суммарная растягивающая сила каждого болта первого ряда:

$$F_{\delta 1} = F_{зам} + F_p + F_M \text{ или } F_{\delta 1} = F_{зам} + \chi \cdot F \cdot / z + \chi \cdot F \cdot L / 4l. \quad (7)$$

Для каждого болта второго ряда:

$$F_{\delta 2} = F_{зам} + F_p \text{ или } F_{\delta 2} = F_{зам} + \chi \cdot F / z. \quad (8)$$

Для каждого болта третьего ряда:

$$F_{\delta 3} = F_{зам} + F_p - F_M \text{ или } F_{\delta 3} = F_{зам} + \chi \cdot F / z - \chi \cdot F \cdot L / 4l. \quad (9)$$

Условие прочности наиболее нагруженных болтов первого ряда:

$$\sigma = (1,3F_{зам} + \chi \cdot F \cdot / z + \chi \cdot F \cdot L / 4l) / A_p \leq [\sigma]_p, \quad (10)$$

где 1,3 – коэффициент, учитывающий скручивание стержня болта при затяжке;

A_p – расчетная площадь болта;

$[\sigma]_p$ – допускаемые напряжения растяжения для материала болта.

3 Изучение конструкции и возможностей лабораторного оборудования

3.1 Машина ДМ-30А

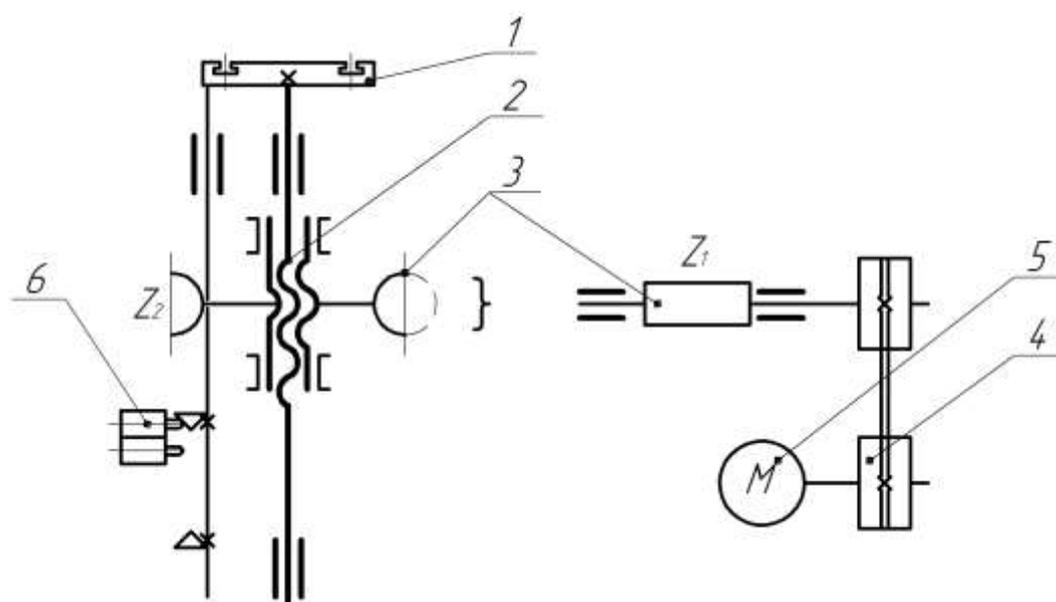
Машина ДМ-30А в сочетании с различными приспособлениями (в том числе с используемым в настоящей работе приспособлением ДМ-39А) предназначена для создания растягивающих и сжимающих нагрузок до 25 кН при исследовании соединений.

Принцип действия машины ДМ-30А основан на поднятии либо опускании стола относительно неподвижной траверсы. Рабочий ход стола машины 90 мм, скорость перемещения 0,65 мм/с.

Кинематическая схема машины представлена на рисунке 3.

В станине 1 (рисунок 4) на салазках 2 установлен электродвигатель 3, который через клиновой ремень 4 передает движение шкиву 5, установленному на червяке. Натяжение приводного ремня осуществляется перемещением салазок винтом 6. Винты 7 служат для стопорения положения двигателя. Червячный редуктор 8 установлен в верхней части станины 1. Крышки редуктора 9, 10 служат направляющими шпинделя 11 стола 12.

Стол прямоугольной формы выполнен с пазами 13 и центрирующим отверстием 14 для установки и крепления приспособления ДМ-39, служащего для изучения соединений.



1 – стол; 2 – винтовая пара; 3 – червячная передача; 4 – клиноременная передача; 5 – электродвигатель; 6 – конечные выключатели.

Рисунок 3 – Кинематическая схема установки ДМ-30А

Для обеспечения установки кулачков 15, 16 служит штанга 17, жестко соединенная со столом. Кулачки 15, 16 воздействуют на конечные выключатели 18.

В редукторе предусмотрен люк 19, через который можно следить за необходимым уровнем смазки, меняющимся с перемещением стола. В верхней

части машины на траверсе 20 расположен пульт управления 21 и силовая панель 22. Включение происходит через автоматический выключатель 23, о наличии напряжения в электросхеме сигнализирует лампа 24.

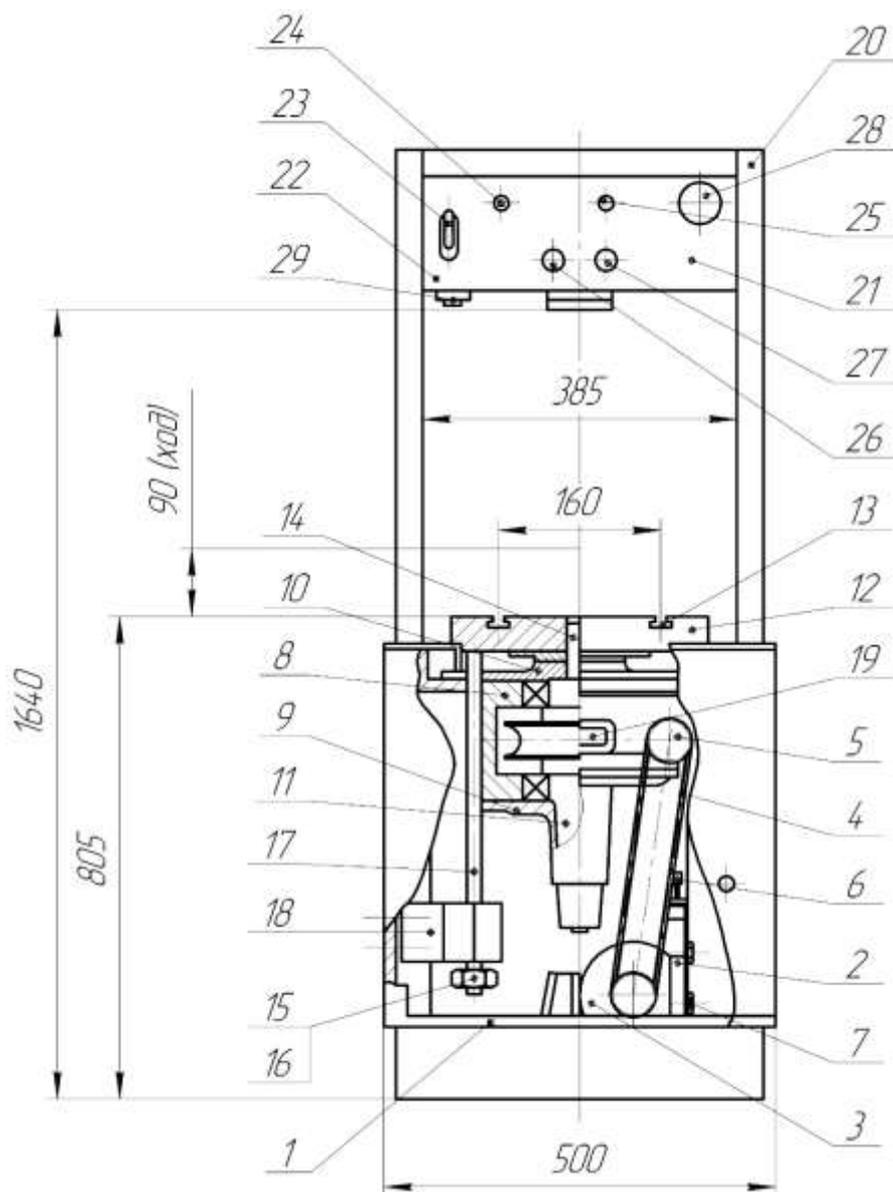


Рисунок 4 – Установка ДМ – 30А

Выбор режима (автоматический или наладочный) осуществляется переключателем 25, имеющим три положения: перемещение стола вверх, вниз и режим наладки. Автоматический режим может осуществляться только при установленном на машине приспособлении. Пуск электродвигателя в обоих режимах осуществляется:

- ход стола вниз – кнопкой 26;
- ход вверх – кнопкой 27;
- стоп машины – кнопкой 28.

На кожухе внизу расположен предохранитель (тепловая защита) двигателя – 29.

3.2 Приспособление ДМ-39

В качестве вспомогательного оборудования для достижения цели, поставленной перед настоящей работой, используется лабораторное приспособление ДМ39, предназначенное для исследования распределения сил между болтами в предварительно стянутом соединении после нецентрального приложения растягивающей сил.

Приспособление содержит шесть болтов М16-8q, стягивающих две детали с размерами поверхности стыка 110 x 86 мм.

Принцип действия приспособления основан на раскрытии стыка в групповом болтовом соединении под действием внецентренно приложенной осевой нагрузки.

Приспособление состоит из основания 1 (рисунок 5), шарнира 2, с корпусом которого жестко соединен кронштейн 3. Исследуемый стык 4 состоит из двух частей 3 и 5, болтов 6 в количестве шести штук (по три в каждом ряду). Болты имеют наклеенные тензорезисторы для определения напряжений растяжения.

Верхняя часть приспособления состоит из силовой головки 7, которая с помощью пальца 8 крепится к верхнему захвату 9 машины ДМ-30А.

Палец затягивается с помощью стержня 10. К силовой головке с помощью гайки 11 и втулки 12, образующих шарнир, крепится верхний кронштейн 5. Внутри корпуса головки находятся тарельчатые пружины 13, и силовой датчик 14, с наклеенными тензорезисторами 15, воспринимающий рабочую нагрузку.

Внутри кожуха 16 головки у лицевой его стенки против щелей 17 размещены линейные индикаторы 17 тлеющего разряда непрерывного действия. Внутри кожуха головки находятся также и конечные выключатели 18, которые через толкатели 19 в канавке 20 стакана силового датчика управляют двигателем машины, работающей в автоматическом режиме.

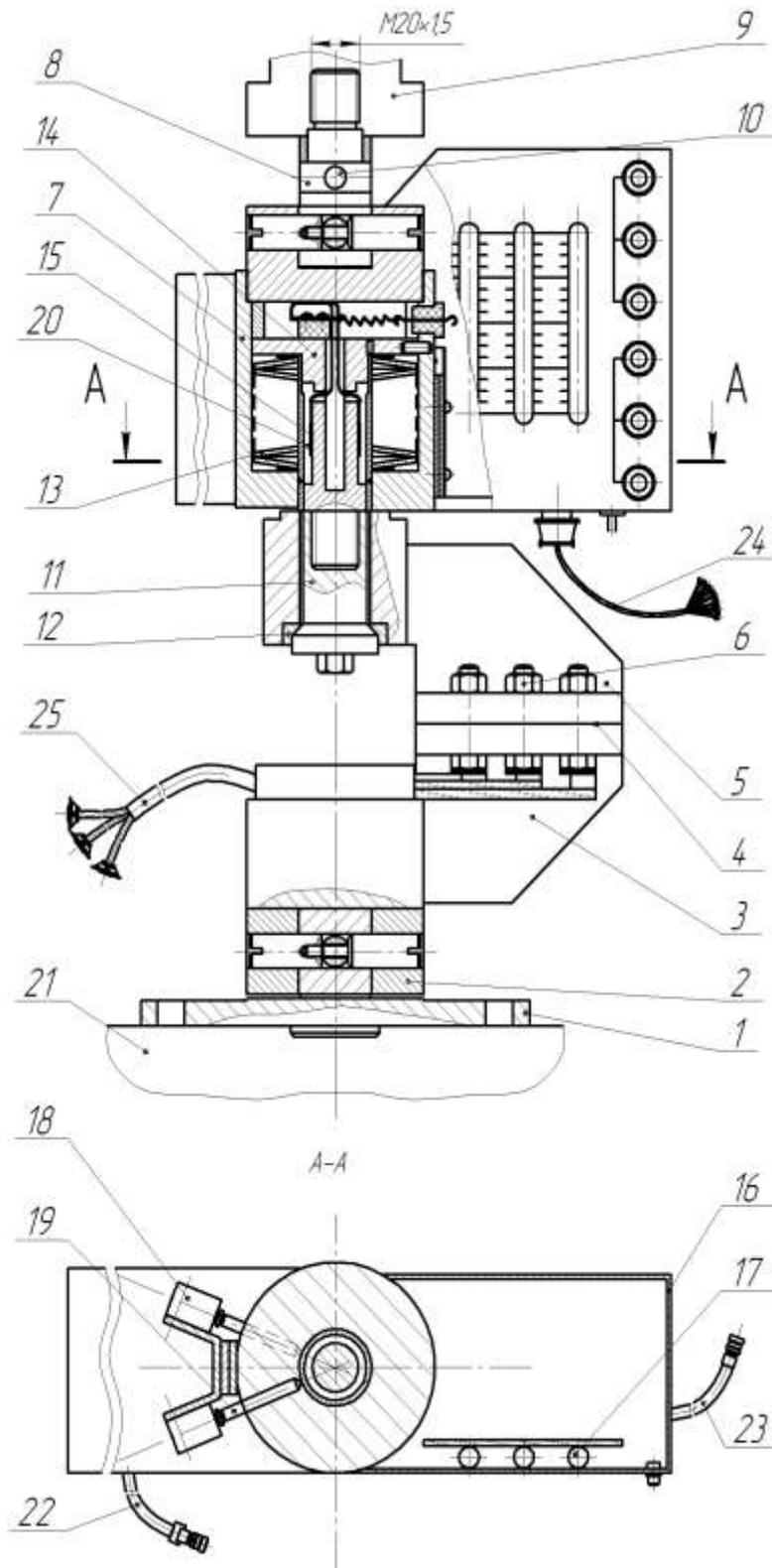


Рисунок 5 – Приспособление ДМ-39

Основание приспособления устанавливается центрирующим выступом на стол машины 21 и крепится болтами.

Жгутами 22, 23, 24 приспособление соединяется с силовой панелью машины ДМ-30А. Жгут 25 соединяет тензоболты с тензоусилителем.

При ходе стола вниз силовой датчик 14 сжимает тарельчатые пружины 13 и через 15 мм хода под действием толкателя 19 срабатывает конечный выключатель 18. Далее двигатель машины реверсирует, а тарельчатые пружины возвращаются в исходное положение; второй конечный выключатель срабатывает и двигатель отключается.

При включении в работу линейных индикаторов 17 светящиеся столбики дают наглядное представление о распределении напряжений в болтах 6 в зависимости от приложенной к соединению нагрузки.

Измерительный блок приспособления ДМ-39 обеспечивает измерение сил, возникающих в обоих болтах первого, второго и третьего рядов группового болтового соединения при его нагружении, усиление полученных сигналов рассогласования и преобразование их в уровень светящегося столба индикаторной лампы, высота которого пропорциональна величине рассогласования.

3.3 Ключ предельного момента

Для обеспечения одинаковой силы начальной затяжки болтов используют ключ предельного момента (рисунок 6).

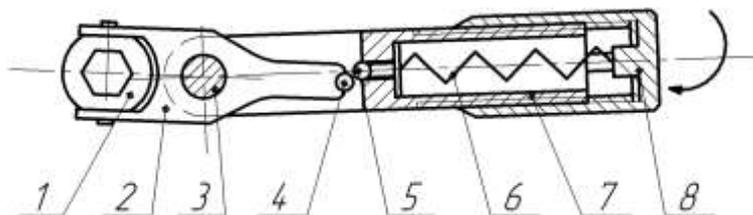


Рисунок 6 – Ключ предельного момента

Головка 1 ключа соединена с рычагом 2, в котором запрессован закаленный ролик 4.

При затяжке гайки (ключ вращают по часовой стрелке) к ролику 4 прижимается шарик 5, поджатый пружиной 6. Шарик 5 и пружина 6 расположены в рукоятке 7. Силу сжатия пружины 6 регулируют накидной гайкой 8, при этом момент срабатывания ключа изменится.

Рукоятка 7 соединена с рычагом 2 шарнирно осью 3. При приложении к рукоятке 7 силы большей, чем заданная для затяжки данного болтового соединения, шарик 5 утапливается в рукоятке и она свободно проворачивается относительно оси 3, не передавая вращающий момент.

Для затяжки следующей гайки ключ предварительно поворачивают на 180° относительно его продольной оси.

4 Выполнение лабораторно-практической работы

4.1 Подготовка к испытаниям

Устанавливают приспособление ДМ-39 на машину ДМ-30А, подключают измерительный блок и, включив тензоусилитель, прогревают его 20 минут.

Гайки испытуемого соединения должны свободно вращаться от руки, приспособление не должно быть нагружено внешней силой (кронштейны свободно покачиваются от руки). При этом устанавливают на нулевую отметку показания светящихся индикаторных трубок и показания прибора (рисунок 5).

4.2 Проведение испытаний

Сначала экспериментально определяют распределение нагрузок между болтами соединения в случае, когда затяжка болтов мала и происходит раскрытие стыка. Для этого затягивают вручную без ключа все шесть гаек так, чтобы не было ощутимого покачивания одного кронштейна относительно

другого, и нагружают соединение растягивающей силой F (не более 5000 Н), придавая столу машины ДМ-30А движение вниз. По показаниям приборов определяют и записывают внешнюю силу и силу, растягивающую болт каждого ряда. После чего внешнюю нагрузку снижают до нуля движением стола машины вверх.

Затем определяют распределение нагрузки между болтами в случае, когда болты затянуты силами, достаточными для предотвращения раскрытия стыка.

При внешней силе $F = 5000$ Н сила затяжки болтов на усилия нераскрытия стыка должна быть не менее $F_{зат_{min}} = 2000$ Н.

Для получения необходимой силы затяжки болтов производят затягивание гаек ключом предельного момента, затягивание начинают с гаек второго ряда. После первой затяжки всех гаек проводят в том же порядке вторую затяжку всех гаек до срабатывания ключа предельного момента. Снимают показания светящихся индикаторных трубок и подсчитывают среднее значение силы затяжки болтов. Соединение вновь нагружают такой же по величине, как в первом эксперименте, внешней силой. Полученные после нагружения осевые растягивающие силы болтов и внешнюю осевую силу записывают в таблицу 1.

При обработке экспериментальных данных вычисляют напряжения, действующие на стыке кронштейнов, используя формулы, приведенные в разделе 2 настоящих методических указаний (Краткие теоретические сведения).

Далее строят графики распределения сил, действующих на болты, и эпюры напряжений, действующих на стыке кронштейнов.

Оценивают возможность раскрытия стыка для случая затянутых и незатянутых болтов; рассчитывают запас прочности, зная, что применены болты М 16 класса прочности 3,6 по ГОСТ 1759.0-87; определяют проходит ли ось поворота через центр тяжести сечения или нет (для случая незатянутых и затянутых болтов)?

Положение оси поворота сечения стыка кронштейна определяют графически (рисунок 2).

На оси абсцисс отмечают положение рядов болтов с расстояниями между ними в натуральную величину $l = 36$ мм.

По оси ординат в любом масштабе откладывают от соответствующих меток рядов болтов экспериментально полученные суммарные растягивающие нагрузки.

Проводят горизонталь на уровне $\bar{F}_{\text{зат}} + F_p$, где $\bar{F}_{\text{зат}}$ – средняя экспериментальная сила затяжки болта. Пересечение этой горизонтали с линией распределения суммарных растягивающих нагрузок между болтами дает положение оси поворота.

В отчете приводят:

- название и цель работы;
- эскиз группового резьбового соединения;
- краткое описание методики исследований и основные расчетные зависимости;
- таблицы и графики;
- анализ полученных результатов и выводы.

Таблица 1

Сила затяжки болтов $\bar{F}_{\text{зат}}$, Н	Силы в болтах при растяжении F_{δ} , Н		
	1 ряд	2 ряд	3 ряд

5 Контрольные вопросы

1. Приведите примеры затянутого болтового соединения.
2. Какие факторы влияют на возможность раскрытия стыка для случая затянутых и незатянутых болтов?
3. По какой формуле можно рассчитать равномерно распределенные сжимающие напряжения?
4. С какой целью при затяжке болтов используют ключ предельного момента? Расскажите его принцип действия.
5. Запишите условие прочности наиболее нагруженных болтов.

Список рекомендованных источников

1. Феодосьев, В.И. Сопротивление материалов: учебник для вузов / В.И. Феодосьев. – 14-е изд., испр. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 590 с.: ил. – (Механика в техническом университете: В 8 т.; Т. 2).– ISBN 978-5-7038-3024-6.
2. Горшков, А.Г. Сопротивление материалов: учебное пособие / А.Г. Горшков, В.Н. Трошин, В.И. Шалашилин. – 2-ое изд., испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 544 с.– ISBN 5-9221-0181-1.
3. Афанасьев, А.М. Лабораторный практикум по сопротивлению материалов / А.М. Афанасьев, В.А. Марьин. – М.: Наука, 1975. – 287 с.
4. Стёпин, П.А. Сопротивление материалов: учебник для машиностроительных специальностей вузов / П.А. Стёпин. – 7-е изд. – М.: Высш. школа, 1983. – 303 с.
5. Писаренко Г.С. Справочник по сопротивлению материалов. / Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: Наукова Думка, 1988. – 736 с.
6. Александров, Л.И. Детали машин: лабораторные работы / Л.И. Александров, Н.П. Артеменко, Л.М. Фельдман. – 2-е изд., перераб. и доп. – Харьков: Изд-во ХГУ. – 1966. – 184 с.
7. Кушнарченко, В.М. Прикладная механика: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / В.М. Кушнарченко, А.М. Ефанов, В.П. Ковалевский, Ю.А. Чирков. – изд. 2-е, испр. и доп. – Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2009. – 396 с. – ISBN978-5-7410-0918-5.
8. Кушнарченко, В.М. Прикладная механика. Механизмы приборов : учебное пособие / В.М. Кушнарченко, Р.Н. Узяков, Г.А. Клещарева. – Оренбург: ОГУ, 2005. – 441 с.
9. Лабораторный практикум по прикладной механике / В.М. Кушнарченко [и др.]. – Оренбург: ОГУ, 2012. – 148 с. – ISBN 978-5-91854-073-2.
10. Механика: учебное пособие / В.М. Кушнарченко [и др.]. – Оренбург: ОГИМ, 2014. – 275 с. – ISBN 978-5-9723-0150-8.

11. Пояркова, Е.В. Механика материалов (методы механических испытаний материалов) : учебное пособие / Е.В. Пояркова, В.И. Грызунов, И.Р. Кузеев. – М.: ФЛИНТА. – 2015. – 228 с. – ISBN 978-5-9765-2481-1.
12. Механика материалов : лабораторный практикум / Е.В. Пояркова [и др.]. – Оренбург: ОГУ. – 2017. – 163 с.– ISBN 978-5-7410-1808-8.
13. Пояркова, Е.В. Механика материалов и основы конструирования: учебное пособие / Е.В. Пояркова, Л.С. Диньмухаметова. – М.: ФЛИНТА. – 2017. – 276 с. – ISBN 978-5-9765-3385-1.
14. Лабораторный практикум по сопротивлению материалов : учеб. пособие для вузов / Р.В. Ромашов [и др.]; под ред. Р.В. Ромашова. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2009. – 123 с. – ISBN 978-5-7410-0949-9.
15. Клевцов, Г.В. Физика и механика разрушения. Основы диагностики разрушения металлических материалов [Электронный ресурс] : электронный учебник / Г.В. Клевцов, Н.А. Клевцова, О.А. Фролова; Тольятт. гос. ун-т. – Тольятти: ТГУ. – 2014.
16. Кушнаренко, В.М. Лабораторный практикум по прикладной механике [Электронный ресурс] / В.М. Кушнаренко, Ю.А. Чирков, Р.Н. Узяков. – 2-е изд., стер. – М.: ФЛИНТА, 2018. – 152 с. – ISBN 978-5-9765-3990-7.
17. ГОСТ 1759.0-87. Болты, винты, шпильки и гайки. Технические условия – М.: Издательство стандартов, 1987. – 14 с.