

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР**

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАТЯНУТОГО БОЛТОВОГО (РЕЗЬБОВОГО) СОЕДИНЕНИЯ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

КУЙБЫШЕВ 1979

Составители: А. М. Циприн, Л. М. Ермакова

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАТЯНУТОГО БОЛТОВОГО (РЕЗЬБОВОГО) СОЕДИНЕНИЯ

Цель работы — экспериментальное определение коэффициентов трения в резьбе и на торце гайки, а также зависимости силы затяжки болта от момента на ключе.

ОСНОВЫ РАСЧЕТА БОЛТОВОГО СОЕДИНЕНИЯ

Момент на ключе T_k , приложенный к гайке при затяжке болтового соединения, затрачивается на преодоление моментов трения в резьбе T_p и на опорной поверхности гайки T_T :

$$T_k = T_p + T_T. \quad (1)$$

Момент в резьбе определяется известным выражением

$$T_p = P_{\text{зат}} \operatorname{tg} (\beta + \rho') \frac{d_2}{2}, \quad (2)$$

откуда

$$\operatorname{tg} (\beta + \rho') = \frac{2 T_p}{P_{\text{зат}} d_2}. \quad (3)$$

Вследствие малости углов β и ρ' можно принять, что

$$\operatorname{tg} (\beta + \rho') \approx \operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg} \rho', \quad (4)$$

и следовательно, из уравнения (3) получим зависимость для определения приведенного коэффициента трения в резьбе:

$$f' = \operatorname{tg} \rho' = \frac{2 T_p}{P_{\text{зат}} D_2} - \operatorname{tg} \beta. \quad (5)$$

Опорная поверхность гайки представляет собой кольцо, меньший диаметр которого равен диаметру отверстия под болт d_0 , а больший — размеру под ключ S .

Для технических расчетов момент на торце гайки T_T определяют в предположении, что равнодействующая сила трения приложена на среднем радиусе опорной поверхности гайки $\frac{d_{cp}}{2}$, т. е.

$$T_T = P_{зат} f \frac{d_{cp}}{2}, \quad (6)$$

где $d_{cp} = \frac{S + d_0}{2}$; f — коэффициент трения на торце гайки, откуда

$$f = \frac{2 T_T}{P_{зат} d_{cp}}. \quad (7)$$

Из уравнений (5) и (7) следует, что для экспериментального определения коэффициентов трения в резьбе f' и на торце гайки f необходимо замерить момент трения в резьбе T_p , момент трения на торце гайки T_T и силу затяжки болта $P_{зат}$.

На рис. 1 представлена схема установки.

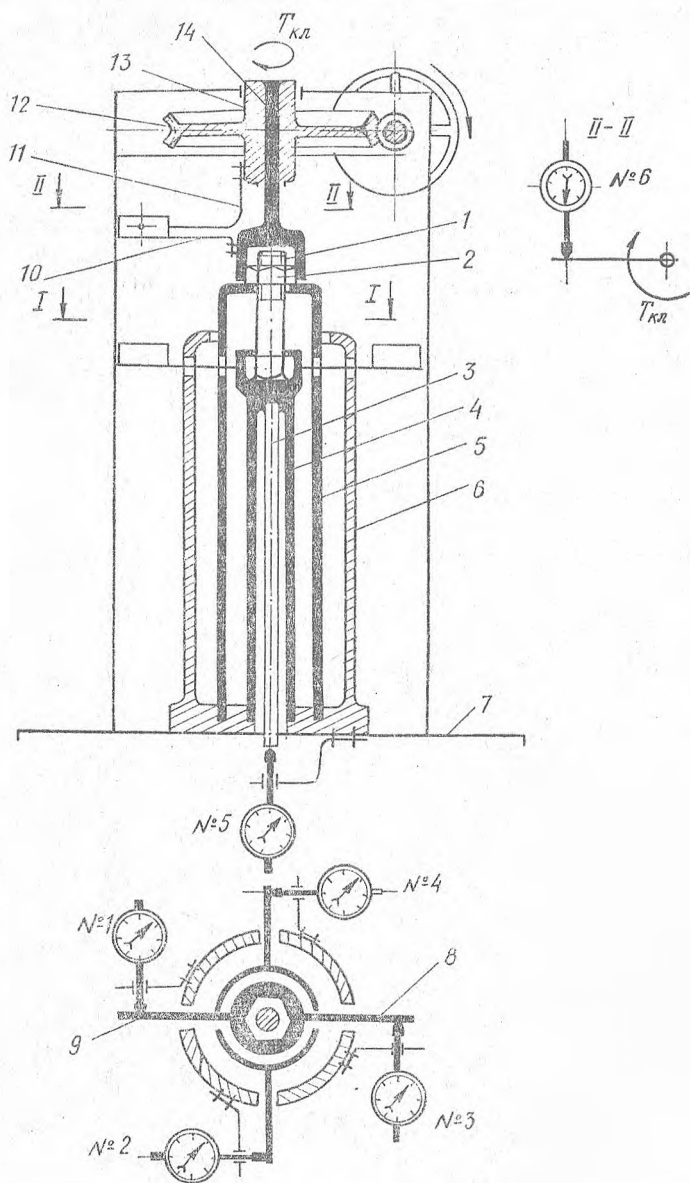
Головка испытуемого болта 1 при установке закрепляется в верхней части трубы 4, а гайка 2 при завинчивании опирается (через шайбу и стакан) на трубу 5.

Обе трубы — тонкостенные, своей нижней частью жестко связаны с основанием 7 и могут упруго закручиваться под действием крутящего момента. Деформация закручивания труб измеряется с помощью индикаторов, установленных на корпусе 6. Ножки индикаторов перемещаются рычагами 8 и 9, закрепленными в верхней части труб.

При затяжке болтового соединения труба 4 закручивается, нагружаясь моментом трения в резьбе T_p , а деформация ее измеряется индикаторами № 1, 3. Труба 5 закручивается под действием момента трения на опорной поверхности гайки T_T , а деформация ее измеряется индикаторами № 2, 4.

Возникающая при затяжке гайки осевая сила $P_{зат}$, растягивающая испытуемый болт, передается на трубу 4. Деформация растяжения трубы 4 измеряется индикатором № 5, укрепленным на корпусе 6 (ножка индикатора упирается в стержень 3, закрепленный в верхней части трубы 4).

Гайка 2 испытуемой пары затягивается динамометрическим ключом, приводимым в действие с помощью червячной передачи. Корпус 13 ключа связан шпонкой с червячным колесом 12 и свободно скользит в нем вдоль оси. Динамометри-



ческий стержень 14 ключа вверху жестко связан с корпусом 13. Внизу на головке стержня закреплен рычаг 10, который перемещает ножку индикатора № 6, укрепленного на кронштейне 11 и смонтированного на корпусе ключа. Индикатор № 6 дает возможность измерить деформацию стержня 14 ключа при закручивании его моментом T_k .

Зависимости между величиной крутящего момента и деформациями упругих элементов (труб 4, 5, стержня 14) — линейные, и определялись они при тарировке резьбодинамометра, а именно:

$$T_k = 8 \cdot 10^3 \Delta_6 \text{ кгс}\cdot\text{мм}; \quad T_p = 4,66 \cdot 10^3 \Delta_{cp} \text{ кгс}\cdot\text{мм};$$

$$P_{зат} = 2 \cdot 10^4 \Delta_5 \text{ кгс},$$

где $\Delta_{cp} = \frac{\Delta_1 + \Delta_3}{2}$ ($\Delta_1, \Delta_2, \Delta_5, \Delta_6$ — показания соответственно 1, 2, 5 и 6 индикаторов).

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Занести в протокол характеристики резьбовой пары, для чего необходимо:

- а — измерить наружный диаметр резьбы — d ;
шаг резьбы — p ;
размер гайки под ключ — S ;
диаметр отверстия гайки — d_0 .

б — установить материал болта, гайки, шайбы, способ изготовления резьбы и вид покрытия.

2. Собрать установку, установить резьбовую пару в резьбодинамометр, выбрать зазоры в соединении путем предварительной затяжки болта.

3. Установить стрелки всех индикаторов в нулевое положение.

4. Последовательно произвести затяжку исследуемой резьбовой пары динамометрическим ключом, фиксируя при этом показания всех индикаторов.

Примечание. Обычно выполняют четыре затяжки величинами T_k , соответствующими показаниям индикатора № 6 — 0,1; 0,2; 0,3 и 0,4 мм.

5. Разгрузить резьбодинамометр.

Результаты измерений и вычислений заносятся в протокол испытания (таблица).

№ опытов	Показания индикатора № 6, Δ_6	Показания индикаторов		Среднее значение показаний, $\Delta_{\text{ср}}$	Значение T_p , кгс·мм	Значение $T_T = T_k - T_p$, кгс·мм	Показания индикатора № 5, Δ_5	Значение $P_{\text{зат}}$, кгс	Значение f'	Среднее значение f'	Значение f	Среднее значение f
		№ 1, Δ_1	№ 3, Δ_3									
1	0,1											
2	0,2											
3	0,3											
4	0,4											

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

1. Определяют:

— момент на ключе, кгс·мм:

$$T_k = 8 \cdot 10^3 \Delta_6,$$

где Δ_6 — показания индикатора № 6, мм;

— момент трения в резьбе, кгс·мм:

$$T_p = 4,66 \cdot 10^3 \Delta_{\text{ср}},$$

где $\Delta_{\text{ср}} = \frac{\Delta_1 + \Delta_3}{2}$ — среднее значение показаний индикаторов № 1, 3, мм;

— момент трения на торце гайки, кгс·мм:

$$T_T = T_k - T_p;$$

— силу затяжки болтового соединения, кгс:

$$P_{\text{зат}} = 2 \cdot 10^4 \Delta_5,$$

где Δ_5 — показания индикатора № 5, мм.

2. Вычисляют тангенс угла подъема витков резьбы исследуемой резьбовой пары

$$\beta = \arctg \frac{p}{\pi d_2},$$

где p — шаг резьбы, мм;

d_2 — средний диаметр резьбы, мм;

3. Определяют коэффициент трения f' в резьбе для каждого нагружения по формуле (5) и подсчитывают ее среднее значение

$$f' = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} f'_i}{n},$$

где n — количество измерений.

4. Определяют коэффициент трения на торце гайки f на каждое нагружение по формуле (7) и подсчитывают среднее значение коэффициента трения на торце гайки

$$f = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} f_i}{n}.$$

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Протокол эксперимента со схемой установки (рис. 1) и характеристикой резьбовой пары.
2. Результаты расчета f' и f .
3. График зависимости $P_{\text{зат}} = F(T_k)$, полученный с помощью формул (5) и (6) по средним значениям коэффициентов трения f' и f .
4. Выводы по работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой принцип используется при измерении крутящего момента T_k ?
2. Что представляет собой динамометрический ключ?
3. Где установлен индикатор № 6? Какую величину он измеряет?
4. К чему крепятся индикатор № 6 и рычаг, перемещающий его ножку?
5. Каким способом измеряется момент трения в резьбе T_p ?
6. Где установлен индикатор № 5 и какую величину он измеряет?
7. Как определяется момент трения на торце гайки T_T ?
8. Если гайка, шайба и болт выполнены из одного материала, имеют соответственно одинаковые твердость и чистоту обработки поверхности, то какой из определяемых коэффици-

ентов должен быть больше — в резьбе или на торце гайки (влияние смазки считать одинаковым)?

9. Объяснить линейный характер зависимости

$$P_{\text{зат}} = F(T_k).$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Решетов Д. Н. Детали машин. М., Машгиз, 1974.
2. Иванов М. Н. Детали машин. М., «Высшая школа», 1976.
3. Биргер И. А., Иосилевич Г. Б. Резьбовые соединения. М., «Машиностроение», 1973.
4. Детали машин, т. 1. Под редакцией Н. С. Ачеркана. М., «Машиностроение», 1968.

Составители: *Абрам Маркович Циприн,*
Лидия Михайловна Ермакова

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАТЯНУТОГО БОЛТОВОГО
СОЕДИНЕНИЯ

Лабораторная работа № 1

Редактор Э. Грязнова
Техн. редактор Н. Каленюк
Корректор Т. Полякова

Сдано в набор 08.01.79 г. Подписано в печать 16.02.79 г. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага оберточная белая. Высокая печать. Усл. п. л. 0,46. Уч.-изд. л. 0,38.
Заказ № 190. Тираж 600 экз. Бесплатно.

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

Типография УЭЗ КуАИ, г. Куйбышев, ул. Ульяновская, 18.