

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 13.03.2023 10:45:42  
Уникальный программный ключ:  
0b817ca911e6668ab5

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное**  
**учреждение высшего образования**  
**«Юго-Западный государственный университет»**  
**(ЮЗГУ)**  
**Кафедра машиностроительных технологий и оборудования**



**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА СИЛ СОПРОТИВЛЕНИЯ  
ПРИ ЗАВИНЧИВАНИИ ГАЙКИ**

Методические указания к лабораторной работе № 7  
для студентов направлений 15.03.05 Конструкторско-  
технологическое обеспечение машиностроительных производств,  
23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и ком-  
плексов очной и заочной форм обучения

УДК 621.8

Составитель: П.Н. Учаев, А.А. Горохов, М.С. Разумов, О.С. Зубкова

Рецензент

кандидат технических наук, доцент *В.В. Малыхин*

**Определение момента сил сопротивления при завинчивании гайки:** Методические указания к лабораторной работе №7 по дисциплине «Детали машин и основы конструирования» / Юго-зап. гос. ун-т; Сост.: П.Н. Учаев и др. Курск, 2018. 12 с.: ил. 4, прилож. 1, Библиогр.: с. 10.

Содержит основные сведения о сопротивлении в кинематической паре винт-гайка. Указывается порядок выполнения лабораторной работы, правила оформления отчетов и их защиты.

Методические указания соответствуют требованиям ФГОС-3 по направлению подготовки бакалавров направлений 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов очной и заочной форм обучения.

Работа предназначена для студентов направлений 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов очной и заочной форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 14.02.18. Формат 60x84 1/16. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,7. Уч. - изд. л. 0,63. Тираж 30 экз. Заказ 914. Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

*Цель работы* – теоретическое и экспериментальное определение моментов сил сопротивления  $T_{расч}$  и  $T_{эк}$  завинчиванию гайки при различных силах затяжки  $F_з$ , а также ознакомление с устройством динамометрического и предельного ключей.

## **1. Правила техники безопасности**

Всем студентам, работающим на установке, во избежание вывода её из строя необходимо соблюдать следующие правила:

1.1. Запрещается прикладывать к винту нагрузку, превышающую допускаемую силу затяжки  $[F_з]$ , полученную расчетом.

1.2. После проведения эксперимента снять силу затяжки-осевую нагрузку на винт.

## **2. Подготовка к выполнению работы**

Перед выполнением лабораторной работы студент должен ознакомиться с содержанием настоящих методических указаний, изучить по рекомендуемой литературе [1, 2] разделы курса, касающиеся резьбовых соединений, с учетом контрольных вопросов, которые приведены в данной работе, и в тетради для лабораторных работ подготовить бланк отчета в соответствии с приложением Б.

## **3. Общие положения**

В машиностроении резьбовые соединения выполняются, как правило, с предварительной затяжкой, обеспечивающей их надежную эксплуатацию при приложении внешней нагрузки (отсутствие относительного сдвига деталей, нераскрытие стыка и т.п.).

3.1. С целью обеспечения и контроля стабильности требуемой силы затяжки резьбового соединения применяют различные способы оценки вращающего момента при завинчивании гайки.

Вращающий момент завинчивания  $T_з$ , который необходимо приложить к гайке, чтобы затянуть болт требуемой силой затяжки  $F_з$ , должен быть равен

$$T_з = T_p + T_T, \quad (1)$$

где  $T_p$  – момент сил сопротивления в резьбе;  $T_T$  – момент сил трения

на торцевой поверхности гайки.

Момент  $T_p$  определяют по известной формуле /1/:

$$T_p = 0,5F_3d_2\text{tg}(\psi + \rho'), \quad (2)$$

где  $d_2$  – средний диаметр резьбы, мм;  $\psi$  – угол подъема резьбы;  $\rho'$  – приведенный угол трения;  $F_3$  – сила затяжки, Н.

Зная параметры резьбы, вычисляем угол подъема резьбы по формуле

$$\psi = \text{arctg}[P_h/(\pi d_2)], \quad (3)$$

где  $P_h$  – ход винта, равный шагу винтовой линии, мм. При однозаходной резьбе ход равен ее шагу  $P$ , т.е.  $P_h = P$ .

Приведенный угол трения  $\rho'$  определяют из выражения

$$\rho' = \text{arctg}f', \quad (4)$$

где  $f'$  – приведенный коэффициент трения в резьбе;

$$f' = f_p/\cos(\alpha/2), \quad (5)$$

причем здесь  $f_p$  – действительный коэффициент трения скольжения;  $\alpha$  – угол профиля резьбы.

Момент сил трения на торце гайки /1/

$$T_T = 0,5F_3f_Td_m, \quad (6)$$

где  $f_T$  – коэффициент трения скольжения на торце гайки;  $d_m$  – средний диаметр опорной поверхности гайки

$$d_m = 0,5(D + d_o), \quad (7)$$

причем здесь  $D$  – диаметр опорной поверхности гайки, который в первом приближении можно принять равным размеру под ключ;  $d_o$  – внутренний диаметр шайбы.

3.2. Замер вращающего момента при завинчивании гайки на практике осуществляется с помощью динамометрических ключей (рис. 1) или ключей предельного момента. Динамометрические ключи применяются при сборке ответственных резьбовых соединений для создания контролируемой силы затяжки (например, при сборке двигателей внутреннего сгорания, сосудов, работающих под внутренним давлением). В этих ключах сила руки сборщика передается через упругий элемент  $I$ , который при завинчивании болта (или гай-

ки) подвергается изгибу, и по отклонению стрелки 2 по шкале 3 определяется момент, приложенный к болту.

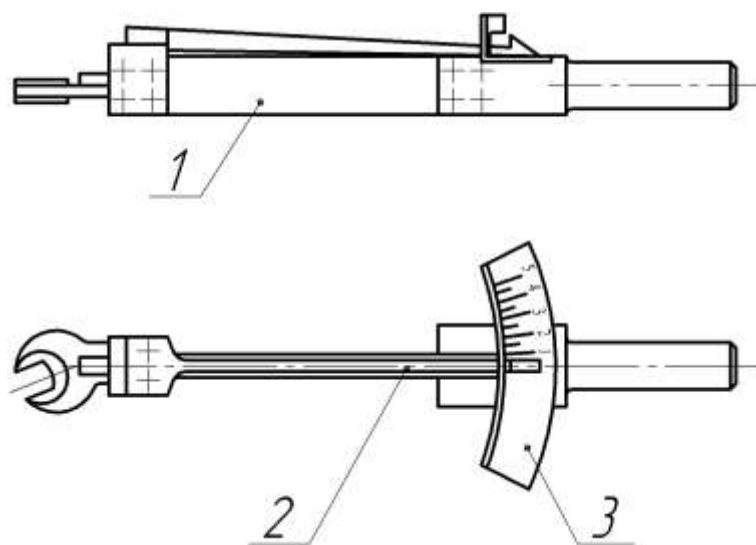


Рис. 1. Динамический ключ

Для аналогичной цели предназначен предельный ключ (рис. 2).

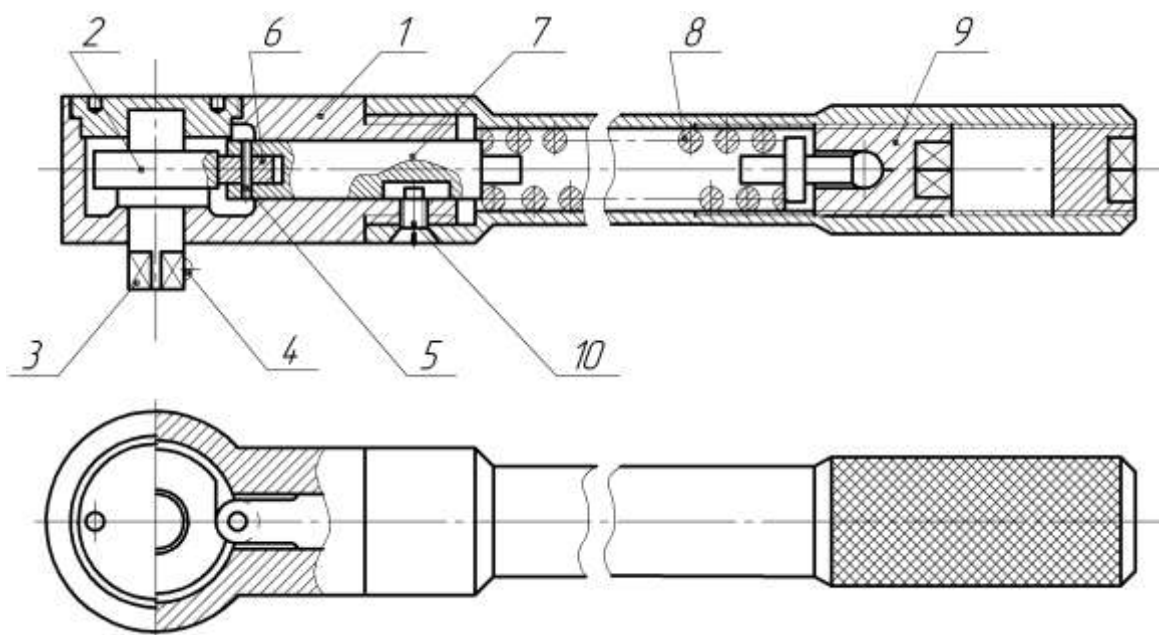


Рис. 2. Предельный ключ по ГОСТ 7068 тип А

В корпусе ключа 1 размещен кулачок 2, ось которого заканчивается выступающим квадратом 3 с шариковым фиксатором 4 для установки сменных накладных головок-торцовых ключей для гаек. Вращающий момент передается к кулачку 2 и, следовательно, к гайке роликом 6, который установлен в штоке 7 на оси 5. Угловая

фиксация штока осуществляется винтом 10. Прижатие ролика к кулачку 2 обеспечивается пружиной 8, сила упругости которой плавно регулируется резьбовой пробкой 9. При достижении требуемого вращающего момента, на который настроен предельный ключ, кулачок 2 отжимает ролик 6, сжимая пружину 8, и ключ автоматически срабатывает (слышен характерный щелчок). Дальнейшую затяжку соединения прекращают.

#### 4. Оборудование и приборы

Лабораторная установка (рис. 3) выполнена в виде рамы консольного типа.

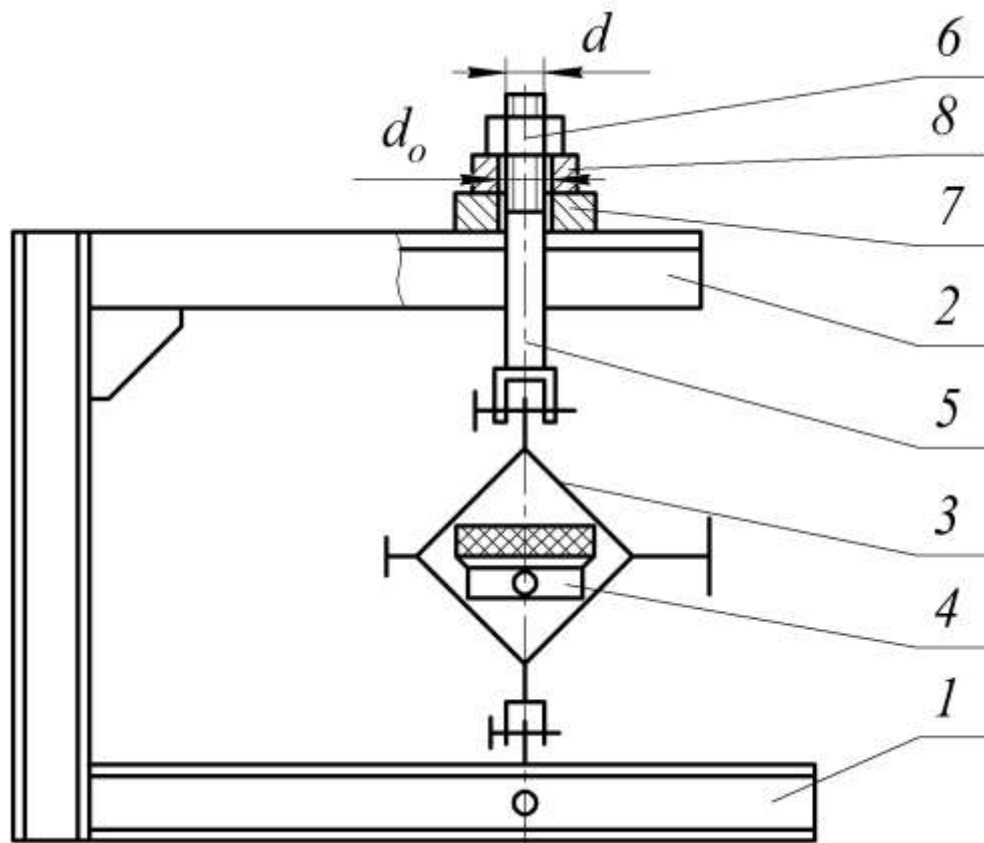


Рис. 3. Схема установки

Между основанием рамы 1, выполненной из швеллеров, и горизонтальной консолью 2 установлен динамометр 3 системы Токаря Н. Г. с индикатором 4 часового типа.

Нагружение винта 5 осуществляется гайкой 6, завинчиваемой с помощью динамометрического ключа (см. рис. 1). Между гайкой 6 и траверсой 7 устанавливаются сменные шайбу 8 или упорный шари-

коподшипник. Заметим, что условия эксперимента должны быть одинаковыми при установке подшипника и шайбы, т.е. гайка и винт должны взаимодействовать по одним и тем же виткам резьбы. Для обеспечения этого необходимо, чтобы

$$H = s,$$

где  $H$  – высота подшипника;  $s$  – толщина шайбы.

При затягивании гайки перемещение винта вверх вызывает деформацию пружины динамометра. Значение действующей на винт нагрузки можно определить по графику (рис. 4), на котором по оси ординат отложена сила затяжки  $F_3$ , а по оси абсцисс – деформация пружины динамометра, фиксируемая индикатором 4 (см. рис. 3).

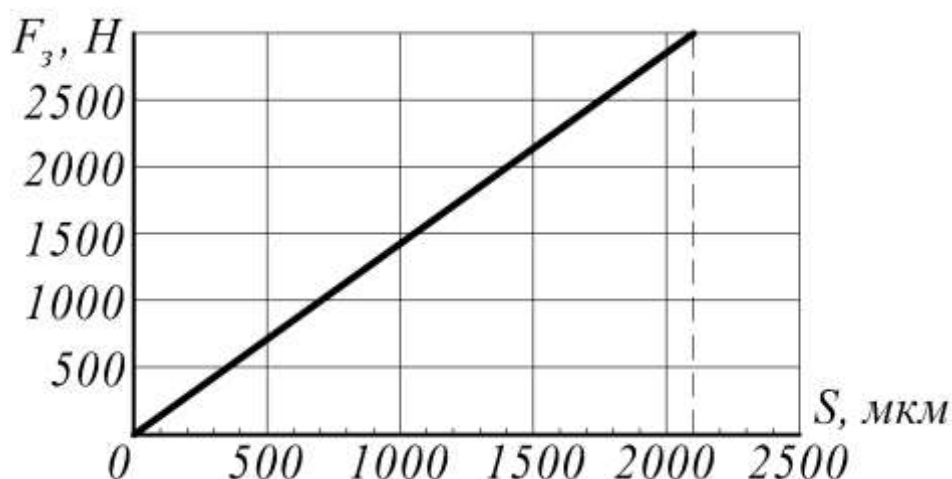


Рис. 4. Тарировочный график зависимости осевой нагрузки от деформации пружины динамометра

## 5. Порядок выполнения работы

5.1. Определить расчетом предельную силу затяжки для винта с известными материалом и параметрами резьбы

$$[F_3] = \frac{[\sigma_\delta] \pi d_1^2}{\gamma \cdot 4}, \quad (8)$$

где  $d_1$  – внутренний диаметр резьбы, мм;  $[\sigma_p]$  – допускаемое напряжение растяжения, МПа;  $\gamma = 1,3$  – коэффициент, которым учитываем совместное действие напряжений растяжения и кручения;  $[F_3]$ , Н.

Причем

$$[\sigma_p] = \sigma_T / [S]. \quad (9)$$

Здесь  $\sigma_T$  – предел текучести (для стали Ст3 можно принять  $\sigma_T = 200$  МПа);

[S] – нормируемый коэффициент безопасности (запаса прочности). Принимаем [S] по таблице А2.

5.2. Установить упорный шарикоподшипник между гайкой 6 и траверсой 7 (см. рис. 3).

5.3. Гайкой 6 выбрать осевой люфт (зазоры) в системе и установить на нуль стрелку индикатора 4 динамометра 3.

5.4. Постепенно завинчивая гайку 6 динамометрическим ключом, нагрузить резьбовое соединение силой 500 Н с учетом тарировочного графика (см. рис. 4). Снимая нагрузку и нагружая резьбовое соединение вновь, выполнить по три замера момента сил сопротивления в резьбе.

5.5. Дальнейшие замеры по п. 5.4 проводить при силе затяжки 1000, 2000 и 3000 Н. Экспериментальные значения моментов сил сопротивления в резьбе занести в таблицу Б1.

Следовательно, в работе допускается, что при установке подшипника сопротивление в нем равно нулю.

5.6. Снять упорный шарикоподшипник и установить на его место шайбу 8 (см. рис. 3).

5.7. Провести эксперимент при тех же осевых нагрузках и в порядке, указанном в пунктах 5.4 и 5.5. Полученные экспериментальные значения моментов сил трения при завинчивании гайки  $T_{з.эк}$  внести в таблицу Б1.

5.8. Определить экспериментальное значение момента сил трения на торцевой поверхности гайки по формуле

$$T_{т.эк} = T_{з.эк} - T_{р.эк} \quad (10)$$

для указанных выше значений сил затяжки. Полученные результаты внести в таблицу 1 приложения Б.

5.9. Имея параметры резьбы, гайки и шайбы, по формулам (1) - (6) вычислить расчетные значения моментов сил сопротивления в резьбе  $T_p$  и на торце гайки  $T_t$  для указанных значений силы затяжки при заданных преподавателем значениях коэффициентов трения-скольжения  $f_p$  и  $f_t$ . Результаты расчетов занести в таблицу 2 приложения Б.

5.10. Построить графики зависимости моментов сил сопротивления в резьбе и на торце гайки от силы затяжки по данным эксперимента и расчетов (см. рис. 2 приложения Б).



## **6. Выводы**

Необходимо сделать выводы о том, имеются ли расхождения между теоретическими и экспериментальными значениями моментов сил сопротивления в резьбе и на торце гайки. Кроме того, необходимо объяснить, чем обусловлены эти расхождения.

## **7. Отчет по лабораторной работе**

Данный отчет следует представить по форме, указанной в приложении Б.

## **8. Контрольные вопросы**

1. Какие различают типы резьбы по назначению и геометрическим параметрам?
2. Напишите формулу для определения момента сил сопротивления в резьбе.
3. За счет чего обеспечиваются одинаковые условия эксперимента при установке подшипника и шайбы?
4. С какой целью устанавливают под гайку упорный подшипник?
5. Каково основное допущение, принятое в работе?
6. Как учитывается действие момента сил сопротивления в резьбе при расчете на прочность стержня винта?
7. Объясните назначение динамометрического и предельного ключей и их конструкцию.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Решетов, Д.Н. Детали машин/ Д.Н. Решетов. Изд. 4-е. - М.: Машиностроение, 1989.
2. Современное машиностроение. Ч. 5. Основы машиноведения. Конструкция, параметры и основы конструирования. Кн. 2. Типовые изделия машиностроения: атлас / П.Н. Учаев, С.Г. Емельянов, И.С. Захаров [и др.]; под общ. ред. П.Н. Учаева. - М.: Высш. шк., 2006.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А1. Параметры метрической резьбы с крупным шагом по ГОСТ 9150 и крепежных деталей

Величина		Значения параметра, мм, при						
Наименование	Обозначение	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30
Наружный диаметр	$d$	16	18	20	22	24	27	30
Шаг резьбы	$P$	2	2,5	2,5	2,5	3	3	3,5
Средний диаметр	$d_2$	14,701	16,376	18,376	20,376	22,051	25,051	27,727
Внутренний диаметр	$d_1$	13,835	15,294	17,294	19,294	20,752	23,752	26,211
Рабочая высота профиля	$h_p$	1,082	1,353	1,353	1,353	1,624	1,624	1,894
Высота гайки	$H$	13	15	16	18	19	22	24
Угол подъема резьбы, град	$\psi$	2,48	2,98	2,48	2,24	2,48	2,18	2,30
Размер под ключ	$s$	24	27	30	32	36	41	46
Диаметр опорного торца гайки	$D_1$	22,5	25,3	22,8	30,0	33,6	38,4	43,1

Таблица А2. Параметры трапецеидальной резьбы по ГОСТ 9150 и крепежных деталей

Величина		Значения параметра, мм, при						
Наименование	Обозначение	Tr10	Tr12	Tr14	Tr16	Tr18	Tr20	Tr22
Наружный диаметр	$d$	10	12	14	16	18	20	22
Шаг резьбы	$P$	2	2	2	2	2	2	2
Средний диаметр	$d_2$	9,0	11,0	13,0	15,0	17,0	19,0	21,0
Внутренний диаметр	$d_1$	7,5	9,5	11,5	13,5	15,5	17,5	19,5
Угол подъема резьбы, град	$\psi$	4°03'	3°18'	2°50'	2°25'	2°09'	1°55'	1°42'

Таблица А2. Рекомендуемые значения коэффициента безопасности [S] при контролируемой силе затяжки и постоянной нагрузке

Сталь	Значения [S]
Углеродистая	1,7...2,2
Легированная	2,0...3,0

ОТЧЕТ

по лабораторной работе № 7

«Определение момента сил сопротивления при завинчивании гайки»

Цель работы

Экспериментальная установка...

Рис. 1. Схема установки

Перечень измерительных приборов:

Параметры резьбового соединения:

- диаметры резьбы:
  - наружный  $d =$  мм;
  - средний  $d_2 =$  мм;
  - внутренний  $d_1 =$  мм;
- шаг резьбы  $P =$  мм;
- угол профиля резьбы  $\alpha =$  град;
- угол подъема резьбы  $\psi =$  град;
- внутренний диаметр шайбы  $d_o =$  мм;
- диаметр опорной поверхности гайки  $D =$  мм;
- коэффициенты трения-скольжения:  $f_p =$   
 $f_T =$
- материал винта и шайбы: сталь Ст3,  $\sigma_T = 200$  МПа.

Результаты расчета:

допускаемого напряжения по формуле (9)

$$[\sigma_p] =$$

допускаемой силы затяжки по формуле (8)

$$[F_3] =$$

Продолжение приложения Б

Таблица Б1. Значения  $T_{p.эк}$ ,  $T_{з.эк}$ ,  $T_{т.эк}$ , Н·мм

$F_3$ , Н	$S$ , мкм	$T_{p.эк}$				$T_{з.эк}$				$T_{т.эк}$
		при замерах			сред- нее	при замерах			сред- нее	
		1-м	2-м	3-м		1-м	2-м	3-м		
500										
1000										
2000										
3000										

Таблица Б 2. Расчетные значения  $T_p$ ,  $T_t$ ,  $T_3$ , Н·мм

$F_3$ , Н	$T_p$	$T_t$	$T_3$
500			
1000			
2000			
3000			

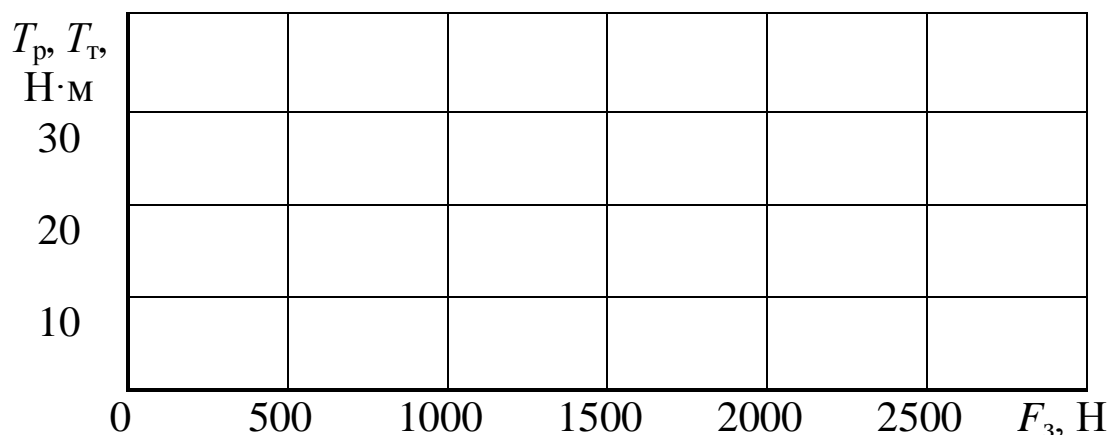


Рис. 2. Графики зависимости моментов сил сопротивления от силы затяжки по результатам эксперимента и расчетов

Выводы

Работу выполнил \_\_\_\_\_  
(подпись студента)

Работу принял \_\_\_\_\_  
(подпись преподавателя)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 200\_ г.