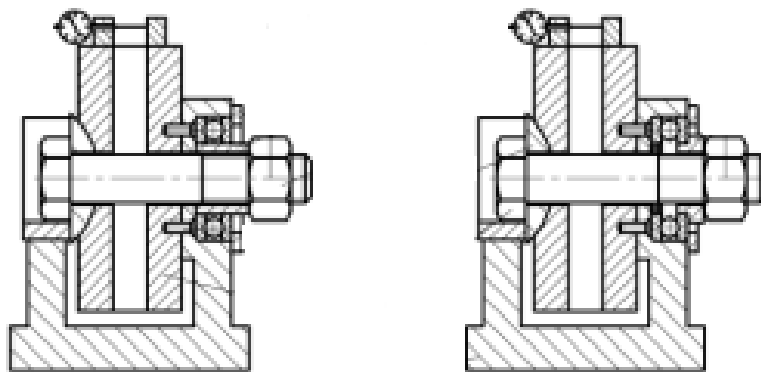


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра деталей машин та прикладної механіки

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
з лабораторної роботи по деталях машин

Лабораторна робота № 8
Дослідження втрат в різьбовому з'єднанні



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра деталей машин та прикладної механіки

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
з лабораторної роботи по деталях машин

Лабораторна робота № 8
Дослідження втрат в різьбовому з'єднанні
для студентів технічних спеціальностей

Затверджено на засіданні кафедри
„Деталі машин та прикладна механіка”

Протокол № 6 від 13. 01. 2022 р.

Кропивницький 2022

Невдаха Ю. А., Пирогов В. В. Методичні вказівки по деталях машин з лабораторної роботи № 8. Дослідження втрат в різьбовому з'єднанні [електроний ресурс]. – Кропивницький: ЦНТУ, 2022. – 20 с.: іл.

Табл. 5. Іл. 5. Бібліогр.: 3 назв.

Укладачі: к.т.н., доц. Невдаха Юрій Андрійович,
к.ф.-м.н., доц. **Пирогов Володимир Васильович.**

Відповідальний за випуск к.т.н., доц. Невдаха Ю.А.

Рецензент д.т.н., проф. **Філімоніхін Геннадій Борисович,**
професор кафедри деталей машин та прикладної механіки
Центральноукраїнського національного технічного університету.

Зміст

1. Теоретична частина	5
1.1. Різьбові з'єднання	5
1.2. Кріпильні різьби та їхні основні параметри	5
1.3. Елементи теорії гвинтової пари	9
2. Практична частина	12
2.1. Основні формули	12
2.2. Експериментальна установка	13
2.3. Порядок виконання роботи	13
2.4. Висновки	19
2.5. Оформлення звіту	19
2.6. Питання для самоконтролю	19
Література	20

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Різьбові з'єднання

З'єднання деталей машин є дуже важливими елементами конструкцій, бо багато аварій або порушень нормальних режимів роботи машини обумовлені незадовільною міцністю та надійністю з'єднань.

Різьбовими називають такі з'єднання, які виконуються за допомогою деталей, що мають різьбу.

Широке використання різьбових з'єднань у машинобудуванні обумовлене їхньою простотою, високою несучою здатністю, надійністю, а також зручністю з'єднання та роз'єднання деталей. Застосуванню різьбових з'єднань сприяють також наявність значної номенклатури спеціальних різьбових деталей, пристосованих до різних конструктивних варіантів з'єднань, їхня широка стандартизація та мала вартість в умовах масового виготовлення.

Обмеження у використанні різьбових з'єднань пов'язані з наявністю значної кількості концентраторів напружень на поверхнях різьбових деталей, що зменшує їх втомну міцність при дії змінних напружень.

1.2. Кріпильні різьби та їхні основні параметри

Кріпильні різьби застосовують у деталях різьбових з'єднань. Залежно від форми поверхні, на якій нарізана різьба, розрізняють циліндричні та конічні різьби. В основному використовуються циліндричні кріпильні різьби. Конічну різьбу застосовують у випадках, коли треба забезпечити герметичність з'єднання.

Кріпильні різьби бувають; метричні, трубні та круглі.

Метрична різьба (рис. 1.1) є основною кріпильною різьбою. Вона має назву метричної тому, що всі її розміри задаються в міліметрах (на відміну

від мало розповсюдженої дюймової різьби, розміри якої даються в дюймах). Метрична різьба має трикутний профіль витків із кутом профілю $\alpha = 60^\circ$. Вершини витків та впадин притуплені по прямій або по дузі кола, по вершинах та впадинах утворений зазор. Така конструкція полегшує обробку різьби, зменшує концентрацію напружень та запобігає пошкодженням різьби в умовах виконання складальних робіт.

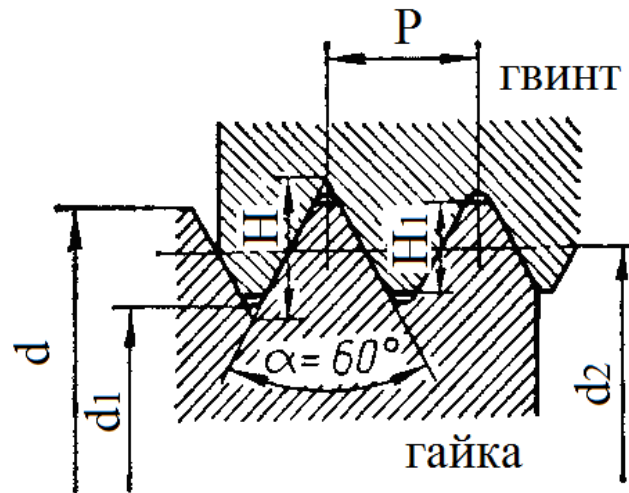


Рисунок 1.1. Параметри метричної різьби

Метрична різьба характеризується такими основними геометричними параметрами:

d – зовнішній (номінальний) діаметр різьби;

d_1 – внутрішній діаметр;

d_2 – середній діаметр (діаметр уявного циліндра, поверхня якого перетинає витки різьби по висоті так, що ширина витка дорівнює ширині впадини);

P – крок різьби (відстань між однойменними сторонами двох сусідніх витків, виміряна в напрямі осі гвинта);

$H = 0.866P$ – теоретична висота профілю витка різьби;

$H_1 = 0.541P$ – робоча висота профілю, на якій дотикаються витки гвинта і гайки;

n – число заходів різьби (для кріпильних метричних різьб $n = 1$);

ψ – кут підйому гвинтової лінії різьби по її середньому діаметру, що визначається за співвідношенням

$$\operatorname{tg}\psi = Pn/(\pi d_2). \quad (1.1)$$

Метричні різьби бувають з нормальним або малим кроком.

Так, для різьби із зовнішнім діаметром $d = 20$ мм стандартами, крім різьби з нормальним кроком $P = 2,5$ мм, передбачені різьби з малими кроками: 2; 1,5; 1,0; 0,75 і 0,5 мм.

При зменшенні кроку відповідно зменшується глибина різьби та кут підйому гвинтової лінії ψ .

Позначення метричної різьби:

M20 – метрична різьба з нормальним кроком;

зовнішнім діаметром $d = 20$ мм;

M20 x 1,5 – метрична різьба з малим кроком витків $P = 1,5$ мм і зовнішнім діаметром $d = 20$ мм.

Основні геометричні параметри метричних різьб регламентовані стандартами ДСТУ 9150–81, ДСТУ 8724–81 та ДСТУ 24705–81.

Для виготовлення кріпильних різьбових деталей використовують сталі: вуглецеві звичайної якості, якісні конструкційні та леговані конструкційні. Механічні властивості сталевих кріпильних деталей нормуються за ДСТУ 1759.4–87, згідно з яким болти, гвинти та шпильки поділяють на 12 класів міцності, а гайки – на 7 класів.

Клас міцності болтів, гвинтів та шпильок позначається двома числами, розділеними крапкою.

Перше число, помножене на 100, визначає мінімальне значення границі міцності σ_B , МПа, матеріалу болта, а друге число, поділене на 10 і помножене на σ_B , дає границю текучості матеріалу болта.

Наприклад, для болта класу міцності 5.6 маємо:

$$\sigma_{B \min} = 5 \cdot 100 = 500 \text{ МПа};$$

$$\sigma_T = 6 \cdot 500/10 = 300 \text{ МПа}.$$

Таблиця 1.1. Рекомендації для вибору матеріалу болтів та гайок

Клас міцності болтів	σ_B , МПа		σ_T , МПа	Марка сталі	
	min	max		Болт	Гайка
3.6	300	440	200	Ст 3; 10	Ст 3
4.6	400	550	240	20	Ст 3
5.6	500	700	300	30; 35	10
6.6	600	800	360	35; 45; 40Г	15
8.8	800	1000	640	30Х; 38ХА	20; 35; 45
10.9	1000	1200	900	40Г2; 40Х	35Х; 38ХА

Умовне позначення болта, наприклад, із номінальним діаметром різьби $d = 12$ мм, малим кроком $P = 1,25$ мм, довжиною $l = 60$ мм та класом міцності 4.6 записують:

Болт М12 х 1,25 х 60.46 ДСТУ 7805 – 70.

Більш детальні відомості про умовні позначення кріпильних деталей наведені в ДСТУ 1759.0 – 87. Найнижчим класом міцності болтів, гвинтів та шпильок буде 3.6, а найвищим – 14.9.

Клас міцності гайок позначається одним числом. Якщо це число помножити на 100, то будемо мати напруження σ_F , МПа, від навантаження випробувань.

Наприклад, для гайки нижчого класу міцності 4

маємо $\sigma_F = 4 \cdot 100 = 400$ МПа (сталі марок Ст 3, Ст 3кп), а для гайки вищого класу міцності 14 – $\sigma_F = 14 \cdot 100 = 1400$ МПа (леговані сталі 35ХГСА, 40ХНМА).

Умовне позначення, гайки, наприклад, із номінальним діаметром різьби $d = 12$ мм, малим кроком $P = 1,25$ мм та класом міцності 8 записують:

Гайка М12 х 1,25.8 ГОСТ 5927 – 70.

Механічні характеристики матеріалів різьбових деталей (деякі витяги із ГОСТ 1759.4 – 87) наведені в табл. 1.1 і 1.2.

Таблиця 1.2. Рекомендації для вибору матеріалу гайок

Клас міцності гайок	Напруження від навантаження випробування σ_F , МПа	Марка сталі
4	400	Ст 3
5	500	10
8	800	20; 35; 45
10	1000	35Х; 38ХА

Вибір матеріалів кріпильних деталей пов'язаний з особливостями умов роботи з'єднань, вимогами до габаритів та маси з'єднання.

Під час вибору матеріалу гайки рекомендують брати до уваги таку вказівку: напруження від навантаження випробування повинно відповідати мінімальній границі міцності матеріалу болта, з яким комплектується гайка.

1.3. Елементи теорії гвинтової пари

Співвідношення між осьовою силою, що діє на болт, та моментом сил, прикладеним до гайки при її загвинчуванні. У болтовому з'єднанні взаємна нерухомість деталей забезпечується відповідною затяжкою болта. При загвинчуванні гайки (рис. 1.2) осьова сила F_0 у стержні болта зростає; при цьому збільшується і момент T , що прикладається до гайки. Цей момент дорівнює сумі моментів сил тертя в різьбі та на торці гайки:

$$T = T_{SP} + T_{ST}. \quad (1.2)$$

Момент сил тертя в різьбі при загвинчуванні гайки визначається за формулою

$$T_{SP} = 0,5F_0d_2\text{tg}(\psi + \rho). \quad (1.3)$$

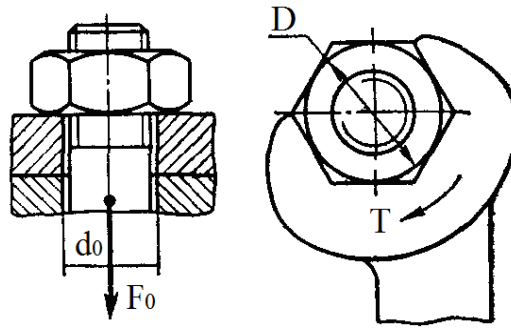


Рисунок 1.2. До визначення моменту сил опору при загвинчуванні гайки.

Опорна торцева площа гайки має форму кільця, обмеженого діаметрами d_0 і D (рис. 1.2). Тому момент сил тертя на такій площині при рівномірному розподілі тиску можна записати у вигляді

$$T_{ST} = F_0 f \frac{1}{3} \frac{D^3 - d_0^3}{D^2 - d_0^2} = F_0 f R_{3B} \quad (1.4)$$

У формули (1.3) та (1.4) входять такі величини:

d_2 – середній діаметр різьби болта;

ψ – кут підйому витків різьби;

$\rho = \arctg \cdot \frac{f}{\cos \alpha / 2}$ – зведений кут тертя в різьбі;

α – кут профілю витків різьби;

f – коефіцієнт тертя ковзання;

R_{3B} – зведений радіус сил тертя на кільцевій площині торця гайки, що визначається за виразом

$$R_{3B} = \frac{1}{3} \frac{D^3 - d_0^3}{D^2 - d_0^2} \quad (1.5)$$

Підставляючи (3) і (4) у вираз (2), дістаємо

$$T = F_0 (0,5 d_2 \operatorname{tg}(\psi + \rho) + f R_{3B}). \quad (1.6)$$

Наближена геометрична подібність метричних різьб різних діаметрів дає змогу для орієнтовних розрахунків використовувати простіші співвідношення, що добуті для середніх значень розрахункових параметрів.

Для метричної різьби з нормальним кроком можна взяти:

$\psi \approx 2^\circ 30'$; $d_2 \approx 0,9d$; $R_{зв} \approx 0,7d$ і $f = 0,15$ (для різьби без покриття).

Тоді момент, що прикладається до гайки при її загвинчуванні, на основі виразу (1.6) може бути визначений за формулою

$$T = 0,2F_0d. \quad (1.7)$$

Якщо припустити, що довжина ручного гайкового ключа дорівнює в середньому $14d$, то, прирівнюючи момент на ключі, що створюється силою Q руки, і момент T , дістанемо співвідношення між осьовою силою F_0 , яка діє на болт, та силою Q , прикладеною до ключа:

$$F_0 \approx 70Q. \quad (1.8)$$

Таким чином, за допомогою кріпильних різьб можна мати вигравш у силі приблизно в 70 разів (при $f = 0,1$ – у 100 разів).

Вираз (1.6) беруть за основу при створенні спеціальних динамометричних ключів, що використовуються для контрольованої затяжки різьбових з'єднань.

2. Практична частина.

Мета роботи – експериментально знайти коефіцієнти тертя в різьбі та на торці гайки.

2.1. Основні формули

При закручуванні гайки момент T_K , прикладений до ключа, врівноважується моментом сил тертя на опорному торці гайки T_T і моментом сил тертя в різьбі T_P

$$T_K = T_T + T_P \quad (2.1)$$

Для знаходження моменту сил тертя на торці гайки вважають, що рівнодійна сил тертя прикладена на середньому колі опорного торця гайки d_{cp} . При цьому:

$$T_T = F f_T \frac{d_{cp}}{2}, \quad (2.2)$$

де $d_{cp} = \frac{D + d_0}{2}$ - середній діаметр опорної поверхні гайки;

D – зовнішній діаметр опорного торця гайки (розмір під ключ);

d_0 – діаметр отвору під гвинт;

F – зусилля затягування;

f_T – коефіцієнт тертя на торці гайки.

Момент в різьбі:

$$T_P = F \frac{d_2}{2} \operatorname{tg}(\gamma' + \psi) \quad (2.3)$$

де d_2 - середній діаметр різьби;

ψ - кут піднімання гвинтової лінії різьби

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{P}{\pi d^2} \quad (2.4)$$

де P - крок різьби;

γ' - приведений кут тертя.

Значення γ' знаходять за формулою:

$$\gamma' = \arctg f' \quad (2.5)$$

де f' - приведений коефіцієнт тертя, значення якого зв'язано з коефіцієнтом тертя в різьбі наступною залежністю

$$f' = \frac{f_p}{\cos \frac{\alpha}{2}}$$

де α - кут профілю витків різьби.

2.2. Експериментальна установка

Устаткування і прилади. Пристрій для знаходження коефіцієнта тертя (рис. 2.1) складається з корпусу 1 і силовимірювального пристрою 2 (динамометричної пружини).

У першому випадку (рис. 2.1,а) при знаходженні коефіцієнта тертя в різьбі під гайку 10 болта 5, який випробується, ставиться втулка 6, яка спирається своїм буртиком на упорний підшипник 4.

У другому випадку (рис. 2.1,б) при знаходженні коефіцієнта тертя на торці гайки під останню ставиться упор 9, виступи якого входять у відповідні пази нерухомо встановленої в корпусі втулки 3 і таким чином при закручуванні гайки 10 її торцева поверхня ковзає по поверхні упора. Від повороту болт утримується сухарем 8. Зусилля затягування і момент на ключі знаходяться за індикаторами і графіками (рис. 2.2).

2.3. Порядок виконання роботи

Шляхом обміру виданого викладачем болта знаходять зовнішній діаметр різьби, а потім за ДСТУ 9150-81 визначають внутрішній діаметр d_1 і

середній діаметр d_2 різьби Шляхом обміру гайки і шайби знаходять діаметр поверхні ковзання D діаметр отвору під болт d_0

Знаходять допустиму силу затягування:

$$[F_3] = \frac{\pi d_1^2}{4} \cdot \frac{[\sigma_p]}{1,3}$$

де $[\sigma_p]$ - допустиме напруження на розтяг для матеріалу болта ;

σ_T - границя текучості для матеріалу болта приймаємо по табл.2.1;

$S = 2...3$ - запас міцності;

$$[\sigma_p] = \frac{\sigma_T}{S} \quad \text{МПа};$$

В процесі випробування для кожного випадку приймають п'ять значень сили затягування:

$$F_3 = 0,2[F_3]; \quad F_3 = 0,4[F_3]; \quad F_3 = 0,6[F_3]; \quad F_3 = 0,8[F_3]$$

Таблиця 2.1.

Механічні властивості деяких сталей

сталь	σ_B , МПа	σ_T , МПа
Ст 2	320 - 410	215
Ст 3	360 - 460	235
Ст 4	400 - 510	255
Ст 5	490 - 630	285

Вуглецеві конструкційні сталі – Сталь 0, Сталь 1, Сталь 2, Сталь 3, Сталь 4, Сталь 5, Сталь 6 маркують номерами в порядку зростання вмісту вуглецю і підвищення характеристик міцності.

Сталь 3 і Сталь 4, дешеві сталі – широко застосовуються для виготовлення різних металоконструкцій типу ферм і рам, а також таких деталей як валики, пальці, тяги, болти, гайки тощо.

Таблиця 2.2.

Різьба метрична для кріпильних різьбових деталей

Діаметр різьби зовнішній d , мм	Діаметр різьби середній d_2 , мм	Діаметр різьби внутрішній d_1 , мм	Крок різьби нормальний P , мм
6	5,350	4,918	1,00
8	7,188	6,647	1,25
10	9,026	8,376	1,50
12	10,863	10,106	1,75
14	12,701	11,835	2,00
16	14,701	13,835	2,00
18	16,376	15,294	2,50
20	18,376	17,294	2,50
22	20,376	19,924	2,50
24	22,051	20,752	3,00
27	25,051	23,752	3,00
30	27,727	26,211	3,50

За тарувальним графіком (рис. 2.3) перевести значення величини сили затягування F_3 в покази індикатора динамометричної пружини. Встановити під гайку, яка спирається на підшипник, втулку 6 і послідовно створити задані сили затягування, кожного разу при цьому фіксуючи значення T_K за показами індикатора тарувального ключа (1-на поділка індикатора відповідає 25Нм).

Вважають, що при малих втратах на тертя в підшипнику

$$T_K = T_P$$

Покази індикатора приводять за тарувальним графіком (рис. 2.2).

З формули (2.3) знаходять:

$$\gamma' = \arctg \frac{2T_P}{Fd_2} - \psi. \quad (2.6)$$

Після цього проводять випробовування без підшипника (з упором) при попередніх значеннях сили затягування F_3 . Момент тертя на торці гайки знаходять як різницю:

$$T_T = T_K - T_P.$$

За значенням моментом сил тертя на опорному торці гайки T_T знаходять за формулою (2.2) коефіцієнт тертя на торці гайки f_T .

Потім знаходять приведений коефіцієнт тертя $f' = \operatorname{tg} \gamma'$

Після чого визначають коефіцієнт тертя в різьбі

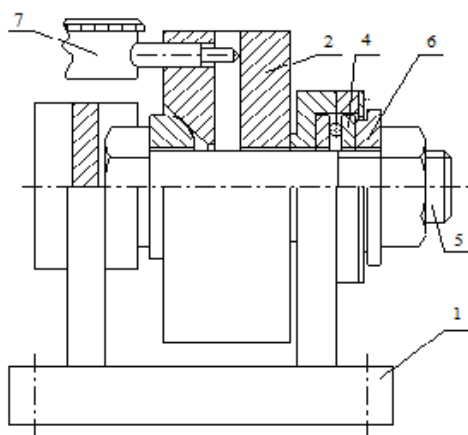
$$f_P = f' \cos \frac{\alpha}{2}$$

де $\alpha = 60^\circ$ – кут профілю різьби

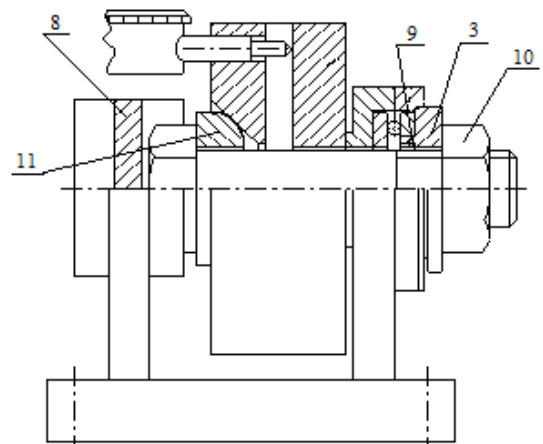
Результати розрахунків заносять в табл. 2.3.

Таблиця 2.3.

№ п/п	$F, Н$	$T_K, Нм$	$T_P, Нм$	$T_T, Нм$	γ'	f'	f_P	f_T



а



б

Рис.2.1 Пристрій для знаходження коефіцієнта тертя

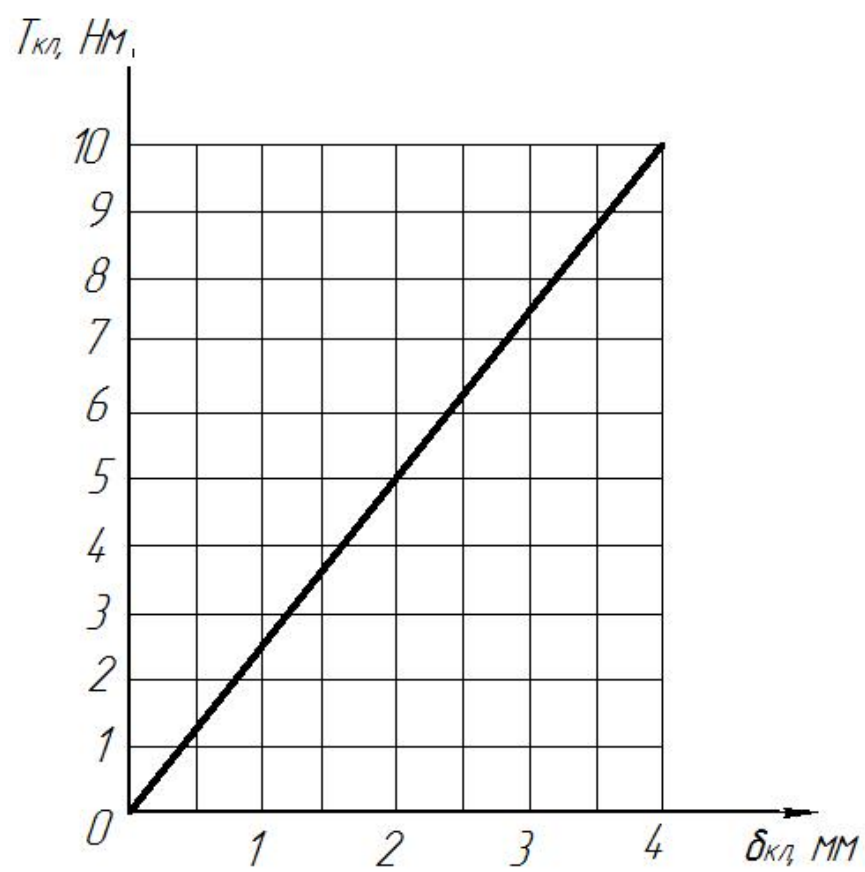


Рисунок 2.2. Графік визначення моменту на ключі

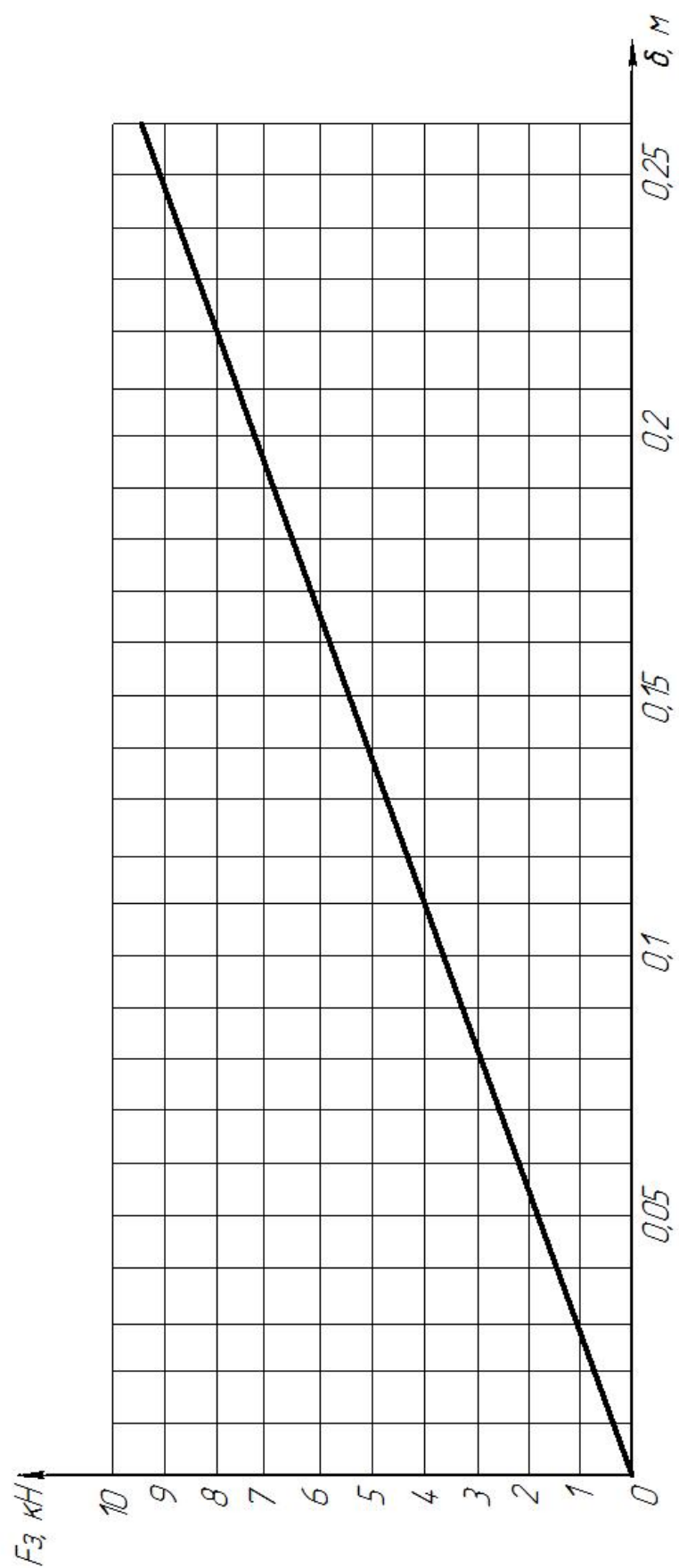


Рисунок 2.3. Тарувальний графік

2.4. Висновки.

У висновках необхідно вказати, як залежить значення коефіцієнта тертя від шорсткості обробки торцевої поверхні гайки.

2.5. Оформлення звіту.

1. Папір машинописний (формат А4). Група. Прізвище, ім'я та по батькові студента.
2. Тема і мета. Ескіз загального виду з'єднання.
3. Результати розрахунків (формули, числові, значення та результати).
4. Результати експериментальних досліджень (цифрові значення рекомендується зводити в таблицю).
5. Висновки.

2.6. Питання для самоконтролю.

1. Від яких параметрів залежить сила тертя в різьбі і на торці гайки?
2. Класифікація різьб залежно від геометричної форми.
3. Види кріпильних різьб.
4. Різьбові деталі, які використовуються в машинобудуванні.
5. Стандартні параметри різьб.
6. Матеріали, які використовуються для виготовлення різьбових деталей.
7. Від яких параметрів залежить величина кута підйому гвинтової лінії?
8. Від яких параметрів залежить величина приведенного кута тертя?
9. Як зміниться величина приведенного кута тертя, якщо замінити метричну різьбу дюймовою?
10. Якими моментами сил врівноважується момент сил на ключі?
11. Від яких параметрів залежить величина моменту сил тертя на торці, гайки?
12. Від яких параметрів залежить величина моменту, сил тертя в різьбі?

ЛІТЕРАТУРА

1. Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: Підручник - К. : Вища школа, 19-93 – 556 с.
2. Расчет и проектирование деталей машин, ч. 1. Киркач Н. Ф., Баласанян Р. А.— 2-е изд., перераб. и доп.— Х.: Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1987.—136 с.
3. Детали машин в примерах и задачах: [Учеб. пособие, В.Ф. Калачев и др.]; под общ. ред. С.Н. Ничипорчика. — 2-е изд. — Мн.: Вища шк. 1981. — 432 с., ил.

Методичні вказівки по деталях машин з лабораторної роботи № 8.
Дослідження втрат в різьбовому з'єднанні

Укладачі:

доц. Невдаха Ю.А.,

доц. Пирогов В.В.

Підписано до друку

Формат А4 Ум. друк. арк.

РВЛ ЦНТУ, м. Кропивницький, пр. Університетський, 8.

тел. 597-541, 390-551, 559-245.

Тираж прим. Зам. №