

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування

Навчально-науковий інститут енергетики, автоматики
та водного господарства
Кафедра енергетики

02/02-04М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять з дисципліни

«Обладнання енергетичних установок»

для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
за освітньо-професійною програмою «Гідроенергетика»
спеціальності 145
«Відновлювані джерела енергії та гідроенергетика»
денної і заочної форм навчання

Рекомендовано науково-
методичною
радою з якості ННІЕАВГ
Протокол № 2 від 13.10.2025 р.

Рівне – 2025

Методичні вказівки до виконання практичних занять з дисципліни «Обладнання енергетичних установок» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Гідроенергетика» спеціальності 145 «Відновлювані джерела енергії та гідроенергетика» денної і заочної форм навчання (видання повторне) [Електронне видання] / Філіпович Ю. Ю. Рівне : НУВГП, 2025. 12 с.

Укладач: Філіпович Ю. Ю. – кандидат технічних наук, доцент кафедри енергетики.

Відповідальний за випуск: Василець С. В., доктор технічних наук, професор, в.о.завідувача кафедри енергетики.

Керівник групи забезпечення спеціальності 145 «Відновлювані джерела енергії та гідроенергетика»: Галич О. О. кандидат технічних наук, доцент кафедри енергетики.

Видання повторне – попереднє видання: 02-04-12

© Ю. Ю. Філіпович, 2025
© НУВГП, 2025

Зміст

Вступ	3
Задача 1	4
Задача 2	5
Задача 3	6
Задача 4	8
Задача 5	10
Список літератури	12

ВСТУП

Під час розробки гідротурбінного обладнання разом із забезпеченням заданого робочого процесу, функціональних кінематичних зв'язків, міцності, довговічності і ефективних експлуатаційних якостей потрібно враховувати можливість виготовлення обладнання найбільш продуктивними і економічними способами. Вибір найбільш економічного рішення є показником якості конструювання. Постійний взаємозв'язок і взаємний вплив процесу покращення конструкції і вдосконалення технології є основою прогресу в машинобудуванні [3].

Виробничий цикл виготовлення гідротурбін складається з наступних послідовних етапів [3]: гідравлічні розрахунки основних робочих органів і гідравлічні лабораторні дослідження моделей турбін, розробка конструкції і розрахунки на міцність та зносостійкість частин турбін, технологічний процес виготовлення в цехах заводу і заключний етап – монтаж та випробування турбіни на місці її встановлення.

Комплексна технологія виготовлення гідротурбінного обладнання включає [3]: виготовлення заготовок, обробку поверхонь, контроль розмірів і взаємного розташування, балансування, складання і випробування гідромашин. Отримання гідротурбінного обладнання на рівні сучасних вимог до його якості потребує постійного вдосконалення технології його виготовлення, створення високотехнологічних вузлів і деталей

гідротурбін.

Задача 1.

Визначити середній внутрішній діаметр кільцевої деталі при трикратному вимірюванні його штихмасом від тумби.

Діаметр тумби 200 мм. Результати вимірювання (мм):

а) $l_{1a} = 2500,01$; $l_{2a} = 2497,50$;

б) $l_{1б} = 2498,25$; $l_{2б} = 2501,36$;

в) $l_{1в} = 2499,11$; $l_{2в} = 2502,06$.

Розв'язання:

Схема *непрямого методу вимірювання* від центральної тумби показана на рис 1.

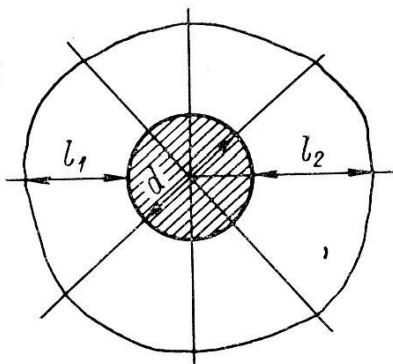


Рис. 1. Схема вимірювання внутрішнього діаметра деталі від тумби, яка встановлена в центрі токарно-карусельного верстата

Визначаємо результати вимірювань:

$$D_a = d + l_{1a} + l_{2a}; D_{б} = d + l_{1б} + l_{2б}; D_{в} = d + l_{1в} + l_{2в};$$

$$D_a = 200 + 2500,01 + 2497,50 = 5197,51 \text{ мм};$$

$$D_{б} = 200 + 2498,25 + 2501,36 = 5199,57 \text{ мм};$$

$$D_{в} = 200 + 2499,11 + 2502,06 = 5201,17 \text{ мм}.$$

Середній внутрішній діаметр деталі

$$D_{сер} = \frac{D_a + D_{б} + D_{в}}{3} = 5199,41 \text{ мм}.$$

Відповідь: $D_{сер} = 5199,41 \text{ мм}.$

Задача 2.

Визначити середній внутрішній діаметр кільцевої деталі при двократному вимірюванні його штихмасом від скалки супорта токарно-карусельного верстата. Ширина скалки $a = 300$ мм.

Результати вимірювання (мм):

а) $l_{1a} = 3150,05$; $l_{2a} = 3149,55$;

б) $l_{1б} = 3148,15$; $l_{2б} = 3151,06$;

Розв'язання:

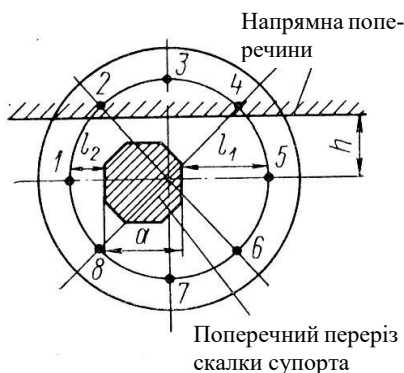


Рис. 2. Схема вимірювання внутрішнього діаметра деталі від скалки супорта токарно-карусельного верстата

$$D_a = l_{1a} + l_{2a} + a; \quad D_б = l_{1б} + l_{2б} + a;$$

$$D_a = 3150,05 + 3149,55 + 300 = 6599,60 \text{ мм};$$

$$D_б = 3148,15 + 3151,06 + 300 = 6599,21 \text{ мм};$$

Середній внутрішній діаметр деталі

$$D_{\text{сер}} = \frac{D_a + D_б}{2} = 6599,40 \text{ мм}.$$

Відповідь: $D_{\text{сер}} = 6599,40$ мм.

Задача 3.

Зовнішня поверхня кільцевої деталі виконана за 5 класом точності при номінальному діаметрі $D = 6600$ мм. Результати вимірювання штихмасом від тумби, яка встановлена в центрі планшайби токарно-карусельного верстата:

діаметр тумби	$d = 500$ мм;
ліва відстань	$l_2 = 3000,42$ мм;
права відстань	$l_1 = 2999,37$ мм;
товщина стінки зліва	$b_2 = 50,25$ мм
товщина стінки праворуч	$b_1 = 50,13$ мм.

а) Навести схему вимірювань;

б) Визначити фактичний зовнішній діаметр D_{ϕ} за результатами його вимірювання штихмасом. Порівняти результати вимірювань з допуском для виконання за 5 класом точності;

в) Результати порівняти з даними вимірювання рулеткою, при якому покази рисок були наступними: $x_1 = 250$ мм і $x_2 = 20995$ мм. Яка похибка вимірювань рулеткою в порівнянні з вимірюваннями штихмасом?

Розв'язання:

а) Схема вимірювання зовнішнього діаметра від тумби, яка встановлена в центрі планшайби токарно-карусельного верстата, схема рис. 3.

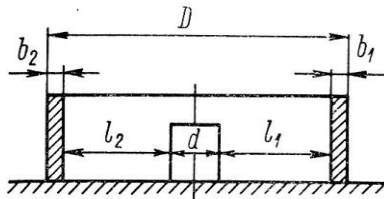


Рис. 3. Схема вимірювання зовнішнього діаметра від тумби, яка встановлена в центрі планшайби токарно-карусельного верстата

б) Зовнішній діаметр визначається за формулою

$$D = d + l_1 + l_2 + b_1 + b_2.$$

$$D_\phi = 300 + 2999,37 + 3000,42 + 50,13 + 50,25 = 6300,17 \text{ мм.}$$

Згідно «Загальнотехнічного довідника», с 348 для діаметрів 6300...8000 мм для 5 класу точності граничні відхилення становлять $\pm 3200 \text{ мк} = \pm 3,2 \text{ мм}$. Таким чином фактичний діаметр деталі має знаходитися в межах від 6596,8 до 6603,2 мм, що і підтверджується вимірюваннями.

в) діаметр деталі за результатами вимірювання рулеткою

$$D_p = l/\pi = (x_2 - x_1)/\pi = (20993 - 250)/3,14159 = 6602,7 \text{ мм.}$$

Похибка вимірювань рулеткою

$$\varepsilon = (D_p - D_\phi)/D_\phi \cdot 100 = [(6602,7 - 6600,17)/6600,17] \cdot 100 = 0,038 \%,$$

що знаходиться в межах потрібної точності.

Відповіді: $D_\phi = 6300,17 \text{ мм}$; $D_p = 6602,7 \text{ мм}$; $\varepsilon = 0,038 \%$;

Задача 4.

Зовнішня поверхня кільцевої деталі виконана за 5 класом точності при номінальному діаметрі $D = 5000$ мм. Результати вимірювання діаметра штихмасом з використанням допоміжної бази, яка була попередньо обточена на планшайбі токарно-карусельного верстата:

діаметр тумби

$$d = 500 \text{ мм};$$

відстань від тумби до бази

$$l_1 = 3000,50 \text{ мм};$$

відстань від бази до кільця

$$l_2 = 3000,15 \text{ мм};$$

$$l' = 750,65 \text{ мм};$$

$$l' = 749,11 \text{ мм}$$

а) Навести схему вимірювань;

б) Визначити фактичний зовнішній діаметр $D_{\text{ф}}$;

в) Результати порівняти з даними вимірювання рулеткою, при якому покази рисок були наступними: $x_1 = 400$ мм і $x_2 = 16120$ мм. Яка похибка вимірювань рулеткою в порівнянні з вимірюваннями штихмасом? Чи знаходиться фактичний зовнішній діаметр в полі допуску.

Розв'язання:

а)

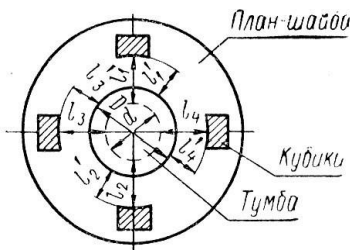


рис. 4. Схема вимірювання зовнішнього діаметра деталі за допомогою допоміжної бази

б) Фактичний зовнішній діаметр деталі D_ϕ за формулою:

$$D_\phi = d + l_1 + l_2 - l_1' - l_2'$$

$$D_\phi = 500 + 3500,5 + 3500,15 - 750,65 - 749,11 = 6000,89 \text{ мм};$$

в) Діаметр деталі за даними вимірювання рулеткою

$$D_p = l/\pi = (x_2 - x_1)/\pi = (19258 - 400)/3,14159 = 6002,69 \text{ мм}.$$

Відхилення від фактичного діаметра

$$\varepsilon = [(D_p - D_\phi)/D_\phi]100 = [(6002,69 - 6000,89)/6000,89]100 = 0,03 \%$$

Це знаходиться в межах потрібної точності.

Для 5 класу точності згідно «Загальнотехнічного довідника», с 348 при діаметрі 6000 мм допуск $\pm 2800 \text{ мкм} = 2,8 \text{ мм}$, тому фактичний діаметр деталі повинен знаходитися в межах $5997,2 < D_\phi < 6002,8 \text{ мм}$, що і підтверджується.

Відповіді: $D_\phi = 6000,89 \text{ мм}$; $D_p = 6002,69 \text{ мм}$; $\varepsilon = 0,03 \%$.

Задача 5.

Вимірювання профілю виконувалися за допомогою голки профілометра КВ-7 на базовій довжині $l = 8$ мм, рис. 5. Результати вимірювань наведені в таблиці.

Номер

Точки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
h_i , мкм	83	15	95	21	73	13	64	18	52	10

а) Визначити висоту профілю за десятима точками – R_z , тобто середнє значення абсолютних висот - п'яти найбільших виступів і п'яти найбільших западин профілю в межах базової довжини l , рис. 5.

б) До якого класу шорсткості належить ця поверхня?

Розв'язання

Висота нерівностей профілю по десяти точках – R_z , тобто середнє значення абсолютних висот п'яти найбільших виступів профілю і п'яти найбільших западин профілю в межах базової довжини l .

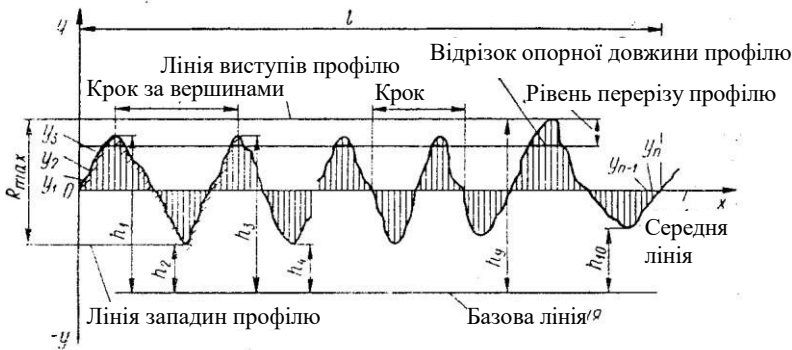


Рис. 5. Профіль шорсткості деталі

Середній крок нерівностей по вершинах— S , тобто середнє значення кроку нерівностей профілю по вершинах в межах базової довжини l .

Середній крок нерівностей профілю S_m , тобто середнє значення кроку нерівностей в межах базової довжини l , де крок нерівностей – довжина відрізка середньої лінії, яка перетинає профіль в сусідніх трьох точках і обмежена двома крайніми точками.

а) *Висота нерівностей профілю по десяти точках* – R_z , тобто середнє значення абсолютних висот п'яти найбільших виступів профілю і п'яти найбільших западин профілю в межах базової довжини l .

$$R_z = \frac{(h_1 + h_3 + \dots + h_9) - (h_2 + h_4 + \dots + h_{10})}{5}$$

$$R_z = \frac{(83 + 95 + 73 + 64 + 52) - (15 + 21 + 13 + 18 + 10)}{5} = 58 \text{ мкм}$$

б) Згідно «Загальнотехнічного довідника» , с 425 для третього класу шорсткості повинно бути $R_z = 80$ мкм, а для четвертого класу - $R_z = 40$ мкм, тому дану поверхню можна віднести до третього класу шорсткості.

Список літератури

1. Сокол Є., Черкашенко М., Потетенко О., Дранковський В., Гасюк О., Гриб О. Гідроенергетика. Том 2. Гідравлічні машини. Харків : НТУ «ХПІ», 2020. 534 с.
2. Самойленко Е. Г. Гідроенергетичне обладнання гідро- та гідроакумуючих електростанцій : підручник. Запоріжжя : ЗДіА, 2006, 406 с.
3. Герасимов Г. Г. Виготовлення гідротурбінного обладнання ГЕС : навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2018. 331 с.
4. Маляренко В. А. Енергетичні установки. Загальний курс : навчальний посібник / 2-е видання. Харків : САГА, 2008. 320 с.
5. Барліт В. В. Сучасні гідродинамічні методи розрахунку лопатевих систем і САПР гідромашин. К. : НМК ВО, 1993.
6. Євтушенко А. О. Гідродинамічні машини і передачі : навчальний посібник. Суми : Сумський державний університет, 2005. С. 27–33.
7. Коновалюк Д. М., Ковальчук Р. М. Деталі машин : підручник / друге видання. К. : Кондор, 2004. 584 с.