

УДК 378.016: 62/64

Нижник О. В.
Національний педагогічний університет
імені М. П. Драгоманова

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ДОВІРЧИХ ГРАНИЦЬ ПОХИБОК ПРЯМИХ І ОПОСЕРЕДКОВАНИХ ВИМІРЮВАНЬ

У статті подано методику визначення довірчих границь похибок прямих і опосередкованих вимірювань за границями допустимих похибок засобів вимірювальної техніки, похибок округлення при зніманні показів засобів вимірювань та експериментальними середніми квадратичними відхиленнями результатів повторних вимірювань.

Ключові слова: довірча границя похибки вимірювання, границя допустимої похибки засобу вимірювання, похибка округлення, експериментальне середнє квадратичне відхилення результатів вимірювань.

Одним із самих простих способів вираження точності, які регламентуються стандартом [1], є задання інтервалу, в якому з встановленою ймовірністю знаходиться сумарна похибка вимірювання. Для такого способу задання точності прийнято наступну форму представлення результатів вимірювання: $A; \Delta$ від Δ_n до Δ_v ; P , де A – результат вимірювання; Δ , Δ_n , Δ_v – відповідно похибка вимірювання з нижньою і верхньою границею, в тих же одиницях; P – встановлена ймовірність, з якою похибка знаходиться у цих границях. Наприклад, 121 м/с, Δ від -1 до 2 м/с, $P = 0,99$.

Найменші розряди числових значень результатів вимірювань і показників точності повинні бути однаковими. Числові показники точності повинні мати не більше двох значущих цифр [1].

У вищій школі потрібно проводити оцінку довірчої границі похибки прямого та опосередкованого вимірювань з врахуванням ймовірнісного характеру виникнення похибок. Розглянемо методику вивчення похибок прямих та опосередкованих вимірювань майбутніми вчителями технологій, яка реалізуватиме діяльнісний підхід і проблемний виклад матеріалу.

Результат вимірювання у більшості випадків подається у вигляді симетричного інтервалу $[x - \Delta_x; x + \Delta_x]$, який записується у символічному вигляді: $X = x \pm \Delta_x$, де X – істинне значення вимірюваної величини, x – результат вимірювання, Δ_x – довірча границя похибки вимірювання для довірчої ймовірності P .

Під час прямих вимірювань проявляються похибка засобу вимірювальної техніки (ЗВТ), випадкова похибка та похибка округлення при зніманні показів. Для характеристики цих похибок введемо такі терміни і позначення:

– для випадкової похибки – Δ_v , $\Delta_{гр.в}$ – відповідно похибка та довірча границя випадкової похибки, S – експериментальне середнє квадратичне відхилення результатів вимірювання[3]. Випадкова похибка у більшості випадків підлягає нормальному розподілу. При ймовірності P випадкова похибка перебуватиме в інтервалі $[-tS; tS]$ ($-tS \leq \Delta_{гр.в} \leq tS$), де t – коефіцієнт Гауса або Стюдента, які визначаються за таблицями [4; 5; 8]. Довірча границя для випадкової похибки буде $\Delta_{гр.в} = tS$. Для повторних вимірювань $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$ експериментальне середнє квадратичне відхилення результатів вимірювань

визначається за формулою $S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n-1}}$, результатом вимірювання буде $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$;

– для похибки округлення при зніманні показів – Δ_o , $\Delta_{гр.о}$, l – відповідно похибка, довірча границя похибки округлення та максимальне значення похибки округлення. Похибка підлягає рівномірному розподілу[4; 6]. Для ймовірності P похибка Δ_o буде перебувати в інтервалі $[-Pl; Pl]$ ($-Pl \leq \Delta_o \leq Pl$). Довірча границя похибки округлення буде

$\Delta_{гр.о} = Pl$. Коли при вимірюванні показ засобу вимірювання округлюють до значення, що відповідає найближчій позначці шкали, то l дорівнює половині ціни поділки шкали. Похибка округлення при зніманні показів дорівнює нулю, коли стрілка аналогового засобу вимірювання зупиняється на позначці шкали. Вона відсутня у цифрових засобах вимірювання;

– для ЗВТ – $\Delta_{звт}$, δ – відповідно похибка та границя допустимої похибки засобу вимірювальної техніки. Границя допустимої похибки визначається за паспортом ЗВТ, класом точності чи відповідним державним стандартом [2]. У більшості випадків вважається, що похибка підлягає нормальному розподілу і ймовірності перебування $\Delta_{звт}$ в інтервалі $[-\delta; \delta]$ приписують значення 0,997, таке як і знаходженню випадкової похибки Δ_B в інтервалі $[-3S; 3S]$. Для інтервалів $[-\delta/3; \delta/3]$ і $[-S; S]$ ймовірність буде $P = 0,68$; для будь-якої ймовірності P довірчі границі похибки ЗВТ будуть $-t\delta/3 \leq \Delta_{звт} \leq t\delta/3$, де t – коефіцієнт Гауса.

Під час вимірювань можливі два випадки поєднання відмічених похибок: 1) коли випадкова похибка не проявляється, то виконують одне вимірювання і сумарна похибка вимірювання Δ_x буде визначатися похибкою ЗВТ та похибкою округлення показів; 2) коли вимірювання виконують кілька разів, то похибка округлення буде складовою випадкової похибки. Сумарна похибка вимірювання Δ_x визначатиметься теж двома похибками – похибкою ЗВТ та випадковою похибкою.

Отже, в обох випадках довірча границя сумарної похибки вимірювання Δ_x складатиметься з двох довірчих границь похибок, які позначимо Δ_A і Δ_B .

У фаховій підготовці майбутніх вчителів технологій не передбачено вивчення теорії ймовірностей і до вивчення ймовірнісного характеру сумарних похибок прямих і опосередкованих вимірювань можливі два підходи: 1) подати готові формули для обчислення довірчих границь похибок; 2) показати ймовірнісний характер сумарної похибки і практично проілюструвати необхідність їх обчислення за формулою (2) [7]. Проведені педагогічні дослідження показали, що останній підхід є більш ефективним. Це пояснюється тим, що у загальноосвітній школі учні вивчали зовсім інший спосіб знаходження сумарної похибки (див. формули (1) і (2)).

Визначимо як потрібно проводити складання похибок [7]. Природньо припустити, що

$$\Delta_x = \Delta_A + \Delta_B. (1)$$

Так визначатися похибка буде тоді, коли Δ_A матиме максимальне додатнє значення і Δ_B теж матиме додатнє максимальне значення, або навпаки Δ_A і Δ_B матимуть максимальні від'ємні значення. Насправді таке буває зовсім не часто, бо похибка ЗВТ та округлення, похибка ЗВТ та випадкова проявляються незалежно одна від одної. Врахуємо цей аспект виконавши такі дії:

$$\Delta_x^2 = (\Delta_A + \Delta_B)^2 = \Delta_A^2 + 2\Delta_B\Delta_A + \Delta_B^2.$$

Проаналізуємо можливі значення виразу $2\Delta_B\Delta_A$. Якщо можливі значення похибок Δ_A і Δ_B виникають незалежно одна від одного, то виконавши досліди багато разів у сумі одержимо значення, яке дорівнює нулю. Отже, коли виникнення похибок не пов'язані між собою, то їх спільну дію можна оцінювати за формулою, яка дає менше значення сумарної похибки $\Delta_x^2 = \Delta_A^2 + \Delta_B^2$, звідки:

$$\Delta_x = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2}. (2)$$

Цю формулу покладемо в основу обчислення довірчих границь похибок прямих і опосередкованих вимірювань. У теорії похибок довірча границя похибки одноразового вимірювання Δ_x для довірчої імовірності P визначається за формулою:

$$\Delta_x = \sqrt{(t\delta/3)^2 + (Pl)^2}, (3)$$

де t – коефіцієнт Гауса. У формулі приймається, що похибка засобу вимірювальної

техніки підлягає нормальному розподілу, а похибка округлення – рівномірному [4 – 6; 8; 9].

Коли проявляється випадкова похибка, то вимірювання виконують кілька (n) разів і результатом вимірювання буде середнє арифметичне значення \bar{x} серії вимірювань. Довірчу границю похибки прямого вимірювання визначають за формулою:

$$\Delta_x = \sqrt{(t \delta / 3)^2 + (t_n S)^2}, \quad (4)$$

де t – коефіцієнт Гауса, t_n – коефіцієнт Стюдента для кількості вимірювань n для довірчої ймовірності P .

Формули (3) і (4) є складними, тому природнім є завдання відшукування практичних прийомів обчислень Δ_x . Розглянемо спрощення, які можна допускати при обчисленні похибок. У вимірюваннях, які виконують студенти, довірчу границю похибки вимірювання як правило вказують з однією значущою цифрою (дві цифри зазначають при відповідальних вимірюваннях та дослідженні методів вимірювання). Якщо значущу цифру похибки вважати правильною, то відносна похибка округлення буде перебувати в межах від $0,5/9 \approx 5,6\%$ до $0,5/1 \approx 50\%$. Проведемо аналіз впливу співвідношення між Δ_A і Δ_B на результат Δ_x , обчисленого за формулою (2). Нехай $\Delta_A = 2\Delta_B$. Тоді $\Delta_x = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2} = \sqrt{4\Delta_B^2 + \Delta_B^2} = \Delta_B \sqrt{5} \approx 2,24\Delta_B$. Якщо похибку обчислювати за наближеною формулою $\Delta_x \approx \Delta_A$, то буде допускатися відносна похибка у визначенні похибки $(\Delta_x - \Delta_A) / \Delta_x = (2,24 - 2) / 2,24 \approx 11\%$. Заміна Δ_x на Δ_A лише на 11% відрізняється від Δ_x , але це сумірно з похибкою округлення до однієї вірної цифри. Покладемо тепер, що $\Delta_A = 3\Delta_B$. Тоді $(\sqrt{3^2 + 1} - 3) / \sqrt{10} \approx 5,1\%$. Якщо похибку обчислювати за наближеною формулою $\Delta_x \approx \Delta_A$, то буде допускатися відхилення лише на 5,1%. Отже, при обчисленні похибок за формулами (3) і (4) можна нехтувати однією із складових похибок, коли вона у три рази менша від іншої [7].

Розглянемо можливі спрощення обчислення довірчої границі похибки за формулою (3). Як правило, для одиничного вимірювання обчислюють границю похибки прямого вимірювання $\Delta_{гр.х}$, коли $P = 1$, для якої формула (3) набирає вигляду: $\Delta_{гр.х} = \sqrt{\delta^2 + l^2}$. Із врахуванням попереднього одержимо такі вирази для спрощеного обчислення за формулою (3): при $\delta \geq 3l$ $\Delta_{гр.х} \approx \delta$ і слід вважати, що довірча границя похибки прямого вимірювання підлягає нормальному розподілу $\Delta_x \approx t\delta/3$; при $l \geq 3\delta$ $\Delta_{гр.х} \approx l$ і потрібно прийняти, що довірча границя похибки прямого вимірювання підлягає рівномірному розподілу $\Delta_x \approx Pl$.

Оскільки похибці ЗВТ приписують нормальний розподіл досить довільно, то у формулі (4) можна з достатньою точністю коефіцієнт Гауса замінити на коефіцієнт Стюдента і формула прийме простіший для обчислень вигляд:

$$\Delta_x = t_n \sqrt{(\delta/3)^2 + S^2}. \quad (5)$$

Враховуючи викладене вище, ця формула теж може бути спрощена. Якщо $\delta/3 \geq 3S$, тобто $\delta \geq 9S$, то випадковою похибкою можна знехтувати і довірчу границю похибки прямого вимірювання можна обчислювати за наближеною формулою $\Delta_x \approx t\delta/3$. Коли $S/(\delta/3) \geq 3$, що дає $S \geq \delta$, то можна нехтувати похибкою ЗВТ. Отже, формулу (4) можна замінити простішою при таких співвідношеннях між δ та S : при $\delta \geq 9S$, $\Delta_x \approx t\delta/3$; при $\delta \leq S$, $\Delta_x \approx t_n S$. Похибка підлягає нормальному розподілу.

Формування умінь студентів обчислювати похибки прямих вимірювань сприяє використанню узагальнюючої табл. 1 для запису результатів прямих вимірювань. У таких таблицях фіксуються значення δ , l та S , які потрібні для попереднього аналізу і вибору остаточної формули для обчислення довірчої границі похибки прямого вимірювання Δ_x для заданої ймовірності P .

Т а б л и ц я 1

Результати прямих вимірювань

Символ величини	Показ засобу вимірювальної техніки	Похибки				Результат вимірювання
		δ	l	S	Δ_x	

Для величини Q , яка є функцією f кількох величин x, y, z, \dots , значення яких знаходять прямими вимірюваннями, результат опосередкованого вимірювання \bar{Q} обчислюють за формулою: $\bar{Q} = f(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}, \dots)$, де $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}, \dots$ – середні арифметичні значення величин x, y, z, \dots

Приростом функції буде $\Delta Q = \frac{\partial f}{\partial x} \Delta_x + \frac{\partial f}{\partial y} \Delta_y + \frac{\partial f}{\partial z} \Delta_z + \dots$. Проте, якщо врахувати, що $\Delta_x = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2}$, то довірчу границю похибки опосередкованого вимірювання величини Q потрібно обчислювати за формулою:

$$\Delta_Q = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x} \Delta_x\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \Delta_y\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z} \Delta_z\right)^2 + \dots}, \quad (6)$$

де $\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y}, \frac{\partial f}{\partial z}, \dots$ – частинні похідні Q по x, y, z, \dots ; $\Delta_Q, \Delta_x, \Delta_y, \Delta_z, \dots$ – довірчі границі похибок вимірювання величин Q, x, y, z, \dots відповідно. Для Δ_Q і $\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z, \dots$ задано одне й те ж саме значення ймовірності P . Значення похідних обчислюють при $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}, \dots$

Використана література:

- ГОСТ 8.011–72. Показатели точности измерений и формы представления результатов измерений. – М. : Изд-во стандартов, 1972. – 6 с.
- ГОСТ 13600–68. Средства измерений: Классы точности. Общие требования. – М. : Изд-во стандартов, 1970 [переиздание]. – 10 с.
- ДСТУ 2681-94. Метрологія. Терміни та визначення. – К. : Держстандарт України, 1994. – 76 с.
- Нижник В. Г. Вимірювання фізичних величин та обчислення похибок / В. Г. Нижник. – К. : Рад. шк., 1979. – 104 с.
- Нижник О. В. Лабораторні роботи з основ метрології: [навчально-методичний посібник] / О. В. Нижник. – К. : Вид-во НПУ імені М. П. Драгоманова, 2012. – 68 с.
- Свешников А. А. Основы теории ошибок: [учеб. пособие] / А. А. Свешников. – Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1972. – 123 с.
- Сквайрс Дж. Практическая физика / Дж. Сквайрс. – М. : Мир, 1977. – 248 с.
- Тюрин Н. И. Введение в метрологию / Н. И. Тюрин. – М. : Изд-во стандартов, 1978. – 280 с.
- Шевцов Е. К. Электрические измерения в машиностроении / Е. К. Шевцов, М. П. Ревун. – М. : Машиностроение, 1989. – 168 с.

Нижник О. В. Методика определения доверительных границ погрешностей прямых и косвенных измерений.

В статье рассматривается методика определения доверительных границ погрешностей прямых и косвенных измерений по границам допустимых погрешностей средств измерительной техники, погрешностей округления при снятии показаний средств измерений и экспериментальным средним квадратическим отклонениям результатов повторных измерений.

Ключевые слова: доверительная граница погрешности измерения, граница допустимой погрешности средства измерения, погрешность округления, экспериментальное среднее квадратическое отклонение результатов измерений.

Nizhnik O. V. Method of determination of confiding limits of errors of the direct and mediated measurings.

This article deals with the methodology of determination of confidence error of direct and indirect measurements using the following errors: limits of possible error of a measuring instrument; roundoff error when taking indications of measuring instruments; experimental standard deviation of measuring results.

Keywords: *confidence error of a measurement, limits of possible error of a measuring instrument, roundoff error, experimental standard deviation of measuring results.*

УДК 377.091

Павлов Ю. О.
Інститут професійно-технічної освіти НАПН України

РЕГУЛЯТИВНІ ПРОЦЕСИ У ФОРМУВАННІ ПРОФЕСІЙНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ У ПТНЗ

У статті розглянуто сутність регулятивних процесів у формуванні професійної компетентності майбутніх фахівців у ПТНЗ. Акцентовано увагу на тому, що у формуванні професійної компетентності майбутніх фахівців ресторанного сервісу відповідні регулятивні процеси мають передбачати діяльну корекцію, яка замикає собою загальний цикл побудови та реалізації діяльності, передбачаючи самонавчання суб'єкта, розширення і збагачення його професійного досвіду, підвищення загального рівня компетентності. Це, насамперед, корекція щодо сприйняття результату, відповідних корекційних дій і функцій.

Ключові слова: *фахівець, ресторанний сервіс, компетентність, регулятивні процеси, професійні дії, корекція, результат діяльності.*

Трудова діяльність вимагає активної участі всіх психічних функцій людини. У психічній регуляції трудової діяльності проявляються всі об'єктивні закономірності і механізми, властиві психіці людини в цілому. Разом з тим певні сторони і механізми домінують більшою чи меншою мірою. Їх поєднання обумовлює специфіку регулятивних процесів трудової діяльності. У сучасній психології склалося і стає все більш поширеним поділ психічних процесів на три основні підсистеми: когнітивну, регулятивну та комунікативну. Перша включає процеси, що забезпечують пізнання зовнішнього середовища, орієнтування в ній, друга – процеси, спрямовані на побудову, організацію і регуляцію діяльності та поведінки, а третина – процеси, що забезпечують комунікацію, взаємодію між людьми. Когнітивні процеси. Першим, вихідним кроком розкриття психологічних особливостей суб'єкта професійної діяльності є розгляд закономірностей пізнавальних (когнітивних) процесів у ній. Пізнавальні психічні процеси спрямовані на прийом, переробку і зберігання інформації, пізнання зовнішнього середовища, орієнтування в ній, тому їх роль в житті людини в цілому і в будь-якій професійній діяльності надзвичайно важлива. Це процеси відчуття, сприйняття, уявлення, уяви, пам'яті, мислення [3].

Особливу значимість для організації будь-якої діяльності відіграють регулятивні процеси, зокрема, у прийнятті рішень. Якщо всі інші процеси роблять більш-менш сильний вплив на діяльність, то саме процеси ухвалення рішення – по самому змістом даного поняття – роблять на неї вирішальний, визначальний вплив. Процес прийняття рішення в професійній діяльності визначається як будь-який вибір одного з альтернативних способів виходу із ситуацій невизначеності та його реалізації у виконавських діях суб'єкта [3, 4]. Необхідність у процесах прийняття рішення виникає під впливом численних факторів як зовнішнього, так і внутрішнього характеру. Найбільш важливими серед них вважаються фактори невизначеності, складності і динамічності середовища прийняття рішення. Під непевністю розуміється недостатність необхідної