

высшей школе : научно-методический журнал. – № 31. – М., 2005. – 175 с. – С. 14-17.

8. Кух А.Н. Инновация и профессионально-методическая подготовка преподавателя физики / А.Н. Кух // Преподавание физики в высшей школе. – №32. – М., 2006. – С. 86-94.
9. Кух А.М. Інтерактивні методи навчання: «мозковий штурм» / А.М. Кух, О.М. Кух // Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського державного університету. Серія педагогічна. – Кам'янець-Подільський : Кам'янець-Подільський державний університет, інформаційно-видавничий відділ, 2007. – Вип. 13: Проблеми дидактики фізики і підручника фізики та астрономії в контексті міжнародної освітньої парадигми. – С. 157-159.

А. Н. Кух, О.М. Кух

Каменець-Подільський національний університет  
імені Івана Огієнка

#### ИНТЕРАКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ОБУЧЕНИЯ ФИЗИКЕ В ВУЗЕ

В статье описано методы интерактивного обучения, которые следует использовать на занятиях физики для раз-

вития исследовательских способностей студентов. Сделано анализ проведенного анкетирования со студентами ВУЗов относительно потребности интерактивного обучения на занятиях физики и методики преподавания физики.

**Ключевые слова:** физика, интерактивное обучение, интерактивные методы, занятия по физике, творчество.

A. N. Kuh, O. M. Kuh

Kamianets-Podilsky Ivan Ohienko National University

#### INTERACTIVE METHODS OF TEACHING PHYSICS IN HIGH SCHOOL

The article describes the methods of online learning, which should be used in physics classes for the development of research abilities of students. Made with analysis conducted survey of high school students about the need of interactive learning in physics lessons.

**Key words:** teaching, interactive learning, interactive methods, physics lessons, art.

Отримано: 15.09.2015

УДК 372.862+372.853

В. Я. Левшенюк, М. Ю. Новоселецький

Рівненський державний гуманітарний університет  
e-mail: levabot@gmail.com, mnov@meta.ua

### ОЗНАЙОМЛЕННЯ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ ФІЗИКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОФІЛЮ З СУЧАСНИМИ ПІДХОДАМИ ДО ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ

У статті подано інформацію про сучасні підходи до обробки результатів вимірювань у відповідності до концепції невизначеності результатів вимірювань.

Розглянуто основні поняття: стандартна невизначеність  $u$  (англ. standard uncertainty), сумарна (комбінована) стандартна невизначеність  $u_c$  (англ. combined standard uncertainty), розширена невизначеність  $U$  (англ. expanded uncertainty), коефіцієнт охоплення  $k$  (англ. coverage factor).

Приведено інформацію про методику розрахунку різних типів невизначеностей та загальноприйняті вимоги щодо оформлення інформації про результати вимірювань (складання бюджету невизначеностей). Подано приклади застосування приведених теоретичних викладок на практиці під час навчання фізики у школі, ВНЗ, позашкільних навчальних закладах.

Проаналізовано відмінності і подібності концепції невизначеності з теорією похибок. Акцентовано на доцільності ознайомлення майбутніх фахівців фізико-технологічного профілю з обома підходами до обробки результатів вимірювань.

**Ключові слова:** обробка результатів вимірювань, концепція невизначеності, підготовка фахівців фізико-технологічного профілю.

У 90-х роках ХХ століття для забезпечення єдності оцінки якості результату вимірювань в галузі наукових досліджень та нових нетрадиційних сферах (аналітична хімія, психологія, педагогіка, соціологія, медицина тощо), шляхом об'єднання зусиль західноєвропейських і американських вчених було розроблено Міжнародну систему забезпечення єдності результатів вимірювань.

У запропонованій системі оцінкою якості результату вимірювань вважають його невизначеність. Основні положення цієї системи і методичні рекомендації щодо її практичного використання висвітлено 1993 р. у документі Міжнародної організації стандартизації «Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement» [1] і на сьогодні угоду про прийняття цього документа визнано у більшості розвинених країн світу (зокрема Канаді, США, Японії, країнах ЄС та інші). Відтак не помічати, а тим більше відкидати сьогодні концепцію невизначеності вважаємо недоцільним передусім через те, оскільки це не сприятиме гармонізації вітчизняних і зарубіжних нормативно-технічних документів та зумовлюватиме невідповідність знань випускників навчальних закладів України сучасним міжнародним науковим тенденціям.

Разом із цим необхідно зважати, що в Україні для оцінки результатів вимірювань нормативними актами регламентовано використання двох концепцій: класичної, яка ґрунтується на оцінці похибки результатів вимірювання, і міжнародної, в основі якої – оцінка невизначеності результату вимірювання [2]. Наразі класична концепція залишається чинною у межах країн колишніх членів Радянського Союзу, а в колах науковців цих країн досі тривають дискусії щодо доцільності переходу на Міжнародну систему.

Поряд з цим, якщо проводити історичні аналогії, прийняття Міжнародної системи одиниці (SI) свого часу сприяло єдності наукових і технічних вимірювань. Цілком очевидно, що й прийняття та впровадження на практиці документів

про оцінку і подання невизначеності результату вимірювань сприятиме стандартизації процедури оцінки широкого спектру результатів вимірювань в науці, комерції, інженерії, індустрії тощо. Важливість останнього виразнюється з огляду на те, що в умовах сьогоденної глобалізації ринку метод оцінювання і подання невизначеності має бути єдиним у всьому світі для забезпечення можливості порівняння результатів вимірювань у різних країнах.

З огляду на означене, під час підготовки майбутніх фахівців фізико-технологічного профілю вважаємо за доцільне ознайомлювати їх з обома підходами.

Основна відмінність концепції невизначеностей від концепції похибки результату вимірювання – це відхід від поняття «істинне значення вимірюваної величини» як такого, що не може бути пізнаним. За цих умов втрачає зміст поняття «похибка вимірювання» як відхилення результату від істинного значення вимірюваної величини. Натомість у метрологічній практиці на сьогодні послуговуються термінами невизначеність вимірювання, стандартна, сумарна і розширена невизначеності та ін. Найважливішими засадами концепції невизначеностей регламентовано нижченаведені:

- відмова від використання таких понять як похибка вимірювань та поділ на види (відносна, абсолютна, систематична і випадкова);
- введення терміну «невизначеність вимірювання» – параметра пов'язаного з результатом вимірювання, що характеризує розсіювання значень вимірюваної величини;
- поділ компонент невизначеності за методом оцінки, а не природою їхньої появи.

Згідно з рекомендаціями, прийнятими настановою, терміну «похибка результатів вимірювань» у новій концепції відповідає «невизначеність результатів вимірювань». Одночасно настановою для практичного застосування рекомендовано терміни, введені керівними документами

Міжнародної організації зі стандартизації (англ. International Organization for Standardization, ISO). Основні з них – це стандартна невизначеність  $u$  (англ. standard uncertainty), сумарна (комбінована) стандартна невизначеність  $u_c$  (англ. combined standard uncertainty), розширена невизначеність  $U$  (англ. expanded uncertainty), коефіцієнт охоплення  $k$  (англ. coverage factor) та ін.

Компоненти стандартної невизначеності розподілено за методом оцінки на дві категорії –  $A$  і  $B$ , які, відповідно, позначають символами  $u_A$  і  $u_B$ .

Невизначеності категорії  $A$  можуть бути оцінені за допомогою статистичних методів на основі багаторазових вимірювань. Стандартну невизначеність для одичного вимірювання визначають за формулою:

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \langle x \rangle)^2}{n-1}},$$

де  $\langle x \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ ,  $n$  – кількість проведених вимірювань.

Це співвідношення відповідає вибірковому (емпіричному) середньому квадратичному відхиленню результатів вимірювань. Тому у разі, якщо значення певної величини є результатом багаторазових вимірювань, в якості результату вимірювань приймають середнє арифметичне значення. Стандартну невизначеність результату такого вимірювання можна обчислити за середнім квадратичним відхиленням середнього за формулою:

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \langle x \rangle)^2}{n(n-1)}}.$$

Як бачимо, стандартній невизначеності типу  $A$  у новій концепції відповідає випадкова похибка у класичній теорії.

Невизначеності типу  $B$  можуть бути обчислені будь-якими методами, за винятком статистичних. Цим невизначеностям у класичній теорії відповідають невиключені систематичні похибки і тому їх, зазвичай, оцінюють через межі відхилення значення вимірюваної величини від його оцінки на підставі апріорного закону розподілу. Наприклад, у разі рівномірного розподілу невизначеностей стандартну невизначеність типу  $B$  визначають за формулою:

$$u_B = \frac{b_+ - b_-}{2\sqrt{3}},$$

де  $b_+$  і  $b_-$  – відповідно верхня і нижня межі відхилення вимірюваної величини від результату вимірювання. Якщо межі симетричні  $b_+ = -b_- = b$ , формула набере вигляду:

$$u_B = \frac{b_i}{\sqrt{3}}.$$

На практиці невиключені систематичні похибки за джерелом виникнення поділяють на інструментальні, методичні, суб'єктивні, взаємодії вимірювального приладу з об'єктом вимірювання та інші [3].

У тому разі, якщо наявної інформації для визначення невизначеності недостатньо, її оцінка може бути здійснена на основі оцінок довірчої межі невизначених систематичних похибок результатів вимірювання  $\theta$  зі співвідношення:

$$u_B = \frac{\theta}{k\sqrt{3}},$$

де  $\theta = k \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 \theta_i^2}$ . Значення  $k$  за  $m > 4$  приймають рівним 1,1 при довірчій ймовірності  $p = 0,95$  і 1,4 при  $p = 0,99$ .

У тому разі, коли результат вимірювання виражається через інші величини співвідношенням  $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ , невизначеність результату вимірювання характеризується сумарною (комбінованою) стандартною невизначеністю, яку позначають символом  $u_c$ . Величини  $X_1, X_2, \dots, X_n$  є як безпосередньо вимірюваними, так і довідниковими сталими. У керівному документі ISO та настанові ці величини називають вхідними, результат вимірювання – вихідною величиною. Сумарна (комбінована) стандартна невизначеність вихідної

величини дорівнює середньоквадратичній сумі стандартних невизначеностей вхідних величин:

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_i^2}.$$

Цій невизначеності у класичній теорії певною мірою відповідає межа сумарної похибки вимірювань.

Зауважимо, що у прикладах обчислення невизначеностей, наведених у настанові, використовують і стандартну невизначеність, виражену в одиницях вимірюваної величини (аналог абсолютної похибки), і стандартну невизначеність, виражену у відсотках (аналог відносної похибки). Втім поняття абсолютної і відносної стандартної невизначеностей у настанові не вживають. Ці величини розмежовують тільки у позначеннях:  $u_B$  – абсолютна,  $\tilde{u}_B$  – відносна стандартні невизначеності, тому потреба введення цих понять у навчальну практику є очевидною [3; 4].

У звітах про результат вимірювання необхідно скласти бюджет невизначеностей, який включає перелік усіх вхідних величин, оцінку їхніх значень, значень стандартних невизначеностей, тип оцінювання невизначеностей (можливий закон розподілу), коефіцієнт чутливості, значення вкладів вхідних величин в сумарну стандартну невизначеність. Зазвичай, бюджет невизначеностей подають у вигляді таблиці 1:

Таблиця 1.

Типова таблиця бюджету невизначеностей вимірювань

Величина	Оцінка значення величини	Стандартна невизначеність	Тип оцінювання ( $A$ чи $B$ )	Коеф. чутливості	Вклад у сумарну невизначеність
$X_1$	$x_1$	$u(x_1)$	$A$ чи $B$	$c_1 = \frac{\partial f}{\partial x_1}$	$u_1 = \left  \frac{\partial f}{\partial x_1} \right  u(x_1)$
...	...	...	...	...	...
$X_n$	$x_n$	$u(x_n)$	$A$ чи $B$	$c_n = \frac{\partial f}{\partial x_n}$	$u_n = \left  \frac{\partial f}{\partial x_n} \right  u(x_n)$
$Y$	$y = f(x_i)$				$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_i^2(y)}$

Величина, що визначає інтервал, у межах якого знаходиться більшість значень розподілу, котрі із достатнім на те обґрунтуванням може бути приписано вимірюваній величині, називають розширеною невизначеністю і позначають символом  $U$ . Її визначають зі співвідношення:

$$U = k(p)u \text{ або } U = k(p)u_c$$

де  $u$  – стандартна,  $u_c$  – сумарна стандартна невизначеність,  $k(p)$  – коефіцієнт охоплення (фактор покриття) як довірчий коефіцієнт для певного рівня довіри (довірчої ймовірності)  $p$ .

Коефіцієнт охоплення рекомендовано прийняти таким, що дорівнює значенню коефіцієнта для випадкової величини, яка підлягає розподілу Стюдента з  $v$  ступенями вільності:

$$k = t_p(v_{\text{ef}}) = k(p).$$

Число ефективних ступенів вільності пропонують обчислювати за емпіричною формулою Велча-Саттерсвейта:

$$v_{\text{ef}} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^n \frac{u_i^4}{v_i}},$$

де  $v_i$  – число ступенів вільності при оцінці вкладу у невизначеність результату вимірювань  $i$ -тої вхідної величини.

При оцінці вкладу невизначеності типу  $A$  величини  $X_i$  у невизначеність результату вимірювань число ступенів вільності приймають  $v_i = m_i - 1$ , де  $m$  – число повторних вимірювань цієї величини. Під час оцінки вкладу невизначеності типу  $B$ , що підлягає рівномірному розподілу, у невизначеність результату вимірювань, число ступенів вільності приймають рівним безмежності  $v_i = \infty$ . На практиці, зазвичай, за типом  $A$  оцінюють невизначеність тільки однієї вхідної величини, а невизначеність решти величин оцінюють за типом  $B$ , відповідно, з рівномірним розподілом. За цих умов формула Велча-Саттерсвейта постає як спрощена:

$$v_{\text{эф}} = (m-1) \frac{u_A^4}{u_A^4} = (m-1) \left( 1 + \frac{u_B^2}{u_A^2} \right)^2.$$

Значення коефіцієнта  $k = t_p(v_{\text{эф}})$  для випадкової величини, що відповідає розподілу Стюдента з  $v$  степенями вільності [моя книжка].

Відповідно до настанови для переважної більшості випадків, за нормального закону розподілу результатів вимірювань, значення  $k$  рекомендовано приймати як таке, що дорівнює  $k=2$  при довірі  $p=0,95$  (чи 95%) і  $k=3$  при довірі  $p=0,99$  (чи 99%).

У разі рівномірного розподілу можливих значень вимірюваної величини коефіцієнт охоплення рекомендовано вважати таким, що дорівнює  $k_1=1,65$  при  $p_1=0,95$  і  $k_2=1,71$  при  $p_2=0,99$ .

У тому разі, якщо закон розподілу невідомий, настановою рекомендовано прийняти значення  $k=2$ , що відповідає довірчій ймовірності  $p=0,95$  при числі ефективних ступенів вільності  $v_{\text{эф}} = \infty$ .

Розширеній невизначеності у класичній концепції у певній мірі відповідає довірча межа результатів вимірювання.

У підсумковому звіті (протоколі, атестаті вимірювань) необхідно вказати результат вимірювань і пов'язані з ним невизначеність та коефіцієнт охоплення. Наприклад, «Результат вимірювання діаметра кульки підшипника становить 10,2 мм. Розширена невизначеність складає  $\pm 0,2$  мм за коефіцієнта охоплення 2» або «Вимірювання показали, що діаметр кульки підшипника знаходиться в інтервалі [10,0-10,4] мм за коефіцієнта охоплення 2».

На перший погляд складається думка, що нововведення полягає тільки у заміні наявних термінів іншими. Але це далеко не так, оскільки між двома концепціями існують відмінності у самих теоретичних засадах. Одна з них полягає у різній трактовці дисперсії, як величини, що характеризує «розкиданість» результатів вимірювання фізичної величини: у класичній теорії дисперсія віднесена до істинного значення вимірюваної величини, у концепції невизначеностей – до результату вимірювань. Є відмінності у самій методиці розрахунку стандартної (типу  $B$ ), сумарної і розширеної невизначеностей, поданні результату вимірювань тощо. Існують певні розбіжності між вітчизняними нормативними документами та документам ISO, які слід враховувати, складаючи методики обробки і подання результатів як прямих, так і посередніх вимірювань [4; 5; 6]. Разом із тим слід відмітити, що оцінка достовірності результатів вимірювань, яка ґрунтується на концепції невизначеностей, не є альтернативою концепції, побудованій на похибках вимірювань. Ці концепції взаємодоповнюють одна одну, а поняття похибки і невизначеності гармонічно пов'язані і можуть використовуватися на практиці без протиставлення [3].

Більш детально питання похибки та невизначеності результатів вимірювань, а також аспекти їхнього практичного застосування в шкільному курсі фізики при обробці результатів вимірювань, висвітлено у наших роботах [7, 8]. Разом із цим, все ще залишаються відкритими та потребують більш ґрунтовного дослідження, наступні дидактичні та методичні питання: «На якому рівні, – похибки чи не-

значеність, – слід вивчати питання обробки результатів вимірювання?», «Коли починати ознайомлення з цими поняттями?», «Вивчати ці питання у курсі фізики чи, можливо, окремою предметною дисципліною?», «Яку кількість часу необхідно відвести на вивчення цих понять?».

#### Список використаних джерел:

1. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM – 1993). – 1995 First edition, 1993. – Corrected and reprinted. – ISO. – Geneva. – 1995.
2. Застосування «Руководства по выражению неопределенности измерений». – К. : Держспоживстандарт України, 2006. – 19 с.
3. Фридман А.Э. Основы метрологии. Современный курс / А.Э. Фридман. – СПб. : НПО «Профессионал», 2008. – 279 с.
4. Ціделко В.Д. Невизначеність вимірювання / В.Д. Ціделко, Н.А. Яремчук. – К. : Політехніка, 2002. – 174 с.
5. Метрология и радиоизмерения : учеб. пособ. для вузов / В.И. Нефедов, А.С. Ситов, В.К. Битюков. – М.: Высшая школа, 2006. – 256 с.
6. Черепков С. Метрологія: стан, проблеми та основні завдання / С. Черепков // Метрологія та прилади. – № 1. – 2007. – С. 4-6.
7. Левшенко В.Я. Похибки і невизначеність результатів вимірювань фізичних величин (на базі шкільного курсу фізики) : навчально-методичний посібник / В.Я. Левшенко, М.Ю. Новоселецький. – Х. : Вид. група «Основа», 2013. – 125 с.
8. Левшенко В.Я. Використання засобів електроніки у шкільному навчальному експерименті з фізики : монографія / В.Я. Левшенко. – Рівне : Волинські береги, 2015. – 206 с.

**В. Я. Левшенко, Н. Ю. Новоселецький**

*Ровенский государственный гуманитарный университет*

#### ОЗНАКОМЛЕНИЯ БУДУЩИХ СПЕЦИАЛИСТОВ ФИЗИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ С СОВРЕМЕННЫМИ ПОДХОДАМИ К ОБРАБОТКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

В статье представлена информация о современных подходах к обработке результатов измерений в соответствии с концепцией неопределенности. Проанализированы различия и сходства концепции неопределенности и теории погрешностей. Акцентировано на целесообразности ознакомления будущих специалистов физико-технологического профиля с обоими подходами к обработке результатов измерений.

**Ключевые слова:** обработка результатов измерений, концепция неопределенностей, подготовка специалистов физико-технологического профиля.

**V. Y. Levsheniuk, M. Y. Novoseleckiy**

*Rivne State Humanitarian University*

#### FAMILIARIZATION OF FUTURE SPECIALISTS OF PHYSICAL-TECHNOLOGICAL PROFILE WITH MODERN APPROACHES TO THE PROCESSING OF MEASUREMENT RESULTS

The article provides information about modern approaches to the treatment of the results of measurements in compliance with the concept of uncertainty. Analyzes the differences and similarities of the concept of uncertainty and the theory of errors. The attention to the appropriateness of reference of the future experts of physical and technological profile with both approaches to the treatment of the results measurements.

**Key words:** processing of measurement results, expression of uncertainty in measurement, training future experts of physical and technological profile.

*Отримано: 20.03.2015*