

ISSN 2518-170X (Online),  
ISSN 2224-5278 (Print)

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ  
Satbayev University

# Х А Б А Р Л А Р Ы

---

---

## ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
Satbayev University

## NEWS

OF THE ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN  
Satbayev University

**SERIES  
OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES**

**6 (444)**

**NOVEMBER – DECEMBER 2020**

THE JOURNAL WAS FOUNDED IN 1940

PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK

---

*NAS RK is pleased to announce that News of NAS RK. Series of geology and technical sciences scientific journal has been accepted for indexing in the Emerging Sources Citation Index, a new edition of Web of Science. Content in this index is under consideration by Clarivate Analytics to be accepted in the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index, and the Arts & Humanities Citation Index. The quality and depth of content Web of Science offers to researchers, authors, publishers, and institutions sets it apart from other research databases. The inclusion of News of NAS RK. Series of geology and technical sciences in the Emerging Sources Citation Index demonstrates our dedication to providing the most relevant and influential content of geology and engineering sciences to our community.*

*Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясы "ҚР ҰҒА Хабарлары. Геология және техникалық ғылымдар сериясы" ғылыми журналының Web of Science-тің жаңаланған нұсқасы Emerging Sources Citation Index-те индекстелуге қабылданғанын хабарлайды. Бұл индекстелу барысында Clarivate Analytics компаниясы журналды одан әрі the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index және the Arts & Humanities Citation Index-ке қабылдау мәселесін қарастыруда. Web of Science зерттеушілер, авторлар, баспашылар мен мекемелерге контент тереңдігі мен сапасын ұсынады. ҚР ҰҒА Хабарлары. Геология және техникалық ғылымдар сериясы Emerging Sources Citation Index-ке енуі біздің қоғамдастық үшін ең өзекті және беделді геология және техникалық ғылымдар бойынша контентке адалдығымызды білдіреді.*

*НАН РК сообщает, что научный журнал «Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук» был принят для индексирования в Emerging Sources Citation Index, обновленной версии Web of Science. Содержание в этом индексировании находится в стадии рассмотрения компанией Clarivate Analytics для дальнейшего принятия журнала в the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index и the Arts & Humanities Citation Index. Web of Science предлагает качество и глубину контента для исследователей, авторов, издателей и учреждений. Включение Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук в Emerging Sources Citation Index демонстрирует нашу приверженность к наиболее актуальному и влиятельному контенту по геологии и техническим наукам для нашего сообщества.*

Б а с р е д а к т о р ы  
э. ғ. д., профессор, ҚР ҰҒА академигі

**И.К. Бейсембетов**

Бас редакторының орынбасары  
**Жолтаев Г.Ж.** проф., геол.-мин. ғ. докторы

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

**Абаканов Т.Д.** проф. (Қазақстан)  
**Абишева З.С.** проф., академик (Қазақстан)  
**Абсадықов Б.Н.** проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)  
**Агабеков В.Е.** академик (Беларусь)  
**Алиев Т.** проф., академик (Әзірбайжан)  
**Бакиров А.Б.** проф., (Қырғызстан)  
**Буктуков Н.С.** проф., академик (Қазақстан)  
**Булат А.Ф.** проф., академик (Украина)  
**Ганиев И.Н.** проф., академик (Тәжікстан)  
**Грэвис Р.М.** проф. (АҚШ)  
**Жарменов А.А.** проф., академик (Қазақстан)  
**Конторович А.Э.** проф., академик (Ресей)  
**Курскеев А.К.** проф., академик (Қазақстан)  
**Курчавов А.М.** проф., (Ресей)  
**Медеу А.Р.** проф., академик (Қазақстан)  
**Мұхамеджанов М.А.** проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)  
**Оздоев С.М.** проф., академик (Қазақстан)  
**Постолатий В.** проф., академик (Молдова)  
**Степанец В.Г.** проф., (Германия)  
**Хамфери Дж.Д.** проф. (АҚШ)  
**Штейнер М.** проф. (Германия)

«ҚР ҰҒА Хабарлары. Геология және техникалық ғылымдар сериясы».

**ISSN 2518-170X (Online),**

**ISSN 2224-5278 (Print)**

Меншіктенуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ (Алматы қ.).

Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде  
29.07.2020 ж. берілген № **KZ39VPY00025420** мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Тақырыптық бағыты: *геология және техникалық ғылымдар бойынша мақалалар жариялау.*

Мерзімділігі: жылына 6 рет.

Тиражы: 300 дана.

Редакцияның мекенжайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28, 219 бөл., 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,  
<http://www.geolog-technical.kz/index.php/en/>

---

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2020

Редакцияның Қазақстан, 050010, Алматы қ., Қабанбай батыр көш., 69а.

мекенжайы: Қ. И. Сәтбаев атындағы геология ғылымдар институты, 334 бөлме. Тел.: 291-59-38.

Типографияның мекенжайы: «NurNaz GRACE», Алматы қ., Рысқұлов көш., 103.

Г л а в н ы й р е д а к т о р  
д. э. н., профессор, академик НАН РК

**И. К. Бейсембетов**

Заместитель главного редактора  
**Жолтаев Г.Ж.** проф., доктор геол.-мин. наук

Р е д а к ц и о н н а я к о л л е г и я:

**Абаканов Т.Д.** проф. (Казахстан)  
**Абишева З.С.** проф., академик (Казахстан)  
**Абсадыков Б.Н.** проф., чл.-корр. (Казахстан)  
**Агабеков В.Е.** академик (Беларусь)  
**Алиев Т.** проф., академик (Азербайджан)  
**Бакиров А.Б.** проф., (Кыргызстан)  
**Буктуков Н.С.** проф., академик (Казахстан)  
**Булат А.Ф.** проф., академик (Украина)  
**Ганиев И.Н.** проф., академик (Таджикистан)  
**Грэвис Р.М.** проф. (США)  
**Жарменов А.А.** проф., академик (Казахстан)  
**Конторович А.Э.** проф., академик (Россия)  
**Курскеев А.К.** проф., академик (Казахстан)  
**Курчавов А.М.** проф., (Россия)  
**Медеу А.Р.** проф., академик (Казахстан)  
**Мухамеджанов М.А.** проф., чл.-корр. (Казахстан)  
**Оздоев С.М.** проф., академик (Казахстан)  
**Постолатий В.** проф., академик (Молдова)  
**Степанец В.Г.** проф., (Германия)  
**Хамфери Дж.Д.** проф. (США)  
**Штейнер М.** проф. (Германия)

**«Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук».**

**ISSN 2518-170X (Online),**

**ISSN 2224-5278 (Print)**

Собственник: Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан (г. Алматы).

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан № **KZ39VPY00025420**, выданное 29.07.2020 г.

Тематическая направленность: *публикация статей по геологии и технических наукам.*

Периодичность: 6 раз в год.

Тираж: 300 экземпляров.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,  
<http://www.geolog-technical.kz/index.php/en/>

---

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2020

Адрес редакции: Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Кабанбай батыра, 69а.  
Институт геологических наук им. К. И. Сатпаева, комната 334. Тел.: 291-59-38.

Адрес типографии: «NurNaz GRACE», г. Алматы, ул. Рыскулова, 103.

E d i t o r i n c h i e f

doctor of Economics, professor, academician of NAS RK

**I. K. Beisembetov**

Deputy editor in chief

**Zholtayev G.Zh.** prof., dr. geol-min. sc.

E d i t o r i a l b o a r d:

**Abakanov T.D.** prof. (Kazakhstan)  
**Abisheva Z.S.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Absadykov B.N.** prof., corr. member. (Kazakhstan)  
**Agabekov V.Ye.** academician (Belarus)  
**Aliyev T.** prof., academician (Azerbaijan)  
**Bakirov A.B.** prof., (Kyrgyzstan)  
**Buktukov N.S.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Bulat A.F.** prof., academician (Ukraine)  
**Ganiyev I.N.** prof., academician (Tadjikistan)  
**Gravis R.M.** prof. (USA)  
**Zharmenov A.A.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Kontorovich A.Ye.** prof., academician (Russia)  
**Kurskeyev A.K.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Kurchavov A.M.** prof., (Russia)  
**Medeu A.R.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Muhamedzhanov M.A.** prof., corr. member. (Kazakhstan)  
**Ozdoyev S.M.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Postolatii V.** prof., academician (Moldova)  
**Stepanets V.G.** prof., (Germany)  
**Humphery G.D.** prof. (USA)  
**Steiner M.** prof. (Germany)

**News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technology sciences.**

**ISSN 2518-170X (Online),  
ISSN 2224-5278 (Print)**

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty).

The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan **No. KZ39VPY00025420**, issued 29.07.2020.

Thematic scope: *publication of papers on geology and technical sciences.*

Periodicity: 6 times a year.

Circulation: 300 copies.

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,  
<http://www.geolog-technical.kz/index.php/en/>

---

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2020

Editorial address: Institute of Geological Sciences named after K.I. Satpayev  
69a, Kabanbai batyr str., of. 334, Almaty, 050010, Kazakhstan, tel.: 291-59-38.

Address of printing house: «NurNaz GRACE», 103, Ryskulov str, Almaty.

**NEWS**

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES**

ISSN 2224-5278

Volume 6, Number 444 (2020), 145 – 153

<https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.141>

UDC004.6:681.121.8:006.91:622.034.822

**S. G. Khan<sup>1</sup>, L. K. Ibrayeva<sup>1</sup>, N. V. Syabina<sup>1</sup>, Z. M. Yuldashev<sup>2</sup>**<sup>1</sup>NJSC Almaty University of Power Engineering and Telecommunications  
named after G. Daukeev, Almaty, Kazakhstan;<sup>2</sup>Saint Petersburg State Electrotechnical University, <sup>2</sup>Saint Petersburg, Russia.

E-mail: khan.sv2011@gmail.com, ibrayeva\_lk@mail.ru, n.saybina@aes.kz, yuld@mail.ru

**RESEARCH AND APPLICATION OF METHODS  
FOR CALCULATING THE MEASUREMENT UNCERTAINTY  
OF INDUSTRIAL FLOWMETERS**

**Abstract.** To create conditions for the recognition of Kazakhstani certificates of conformity and the results of product tests, an assessment of measurement uncertainty is required. In this regard, there has been an increase in the practical application in Kazakhstan of the concept of measurement uncertainty. The authors developed a physical stand for a mobile complex designed to verify electromagnetic flowmeters at the place of operation. To obtain verification results, programs were developed to calculate the uncertainty of an electromagnetic flowmeters using the NI LabView software. In addition, a model for estimating the uncertainty of the relative error of flowmeters was proposed, and the measurement uncertainty was estimated using three methods: standard, Monte Carlo and Kragten. Finally, a comparative analysis was conducted on the results of the estimation of the uncertainty of the relative error of the industrial electromagnetic flowmeter. All methods give standard uncertainty values that do not exceed the acceptable range of relative error ( $\pm 1\%$ ). However, Monte Carlo method gives better results for sufficiently large number of simulations. No significant differences between the results obtained using standard and Kragten methods were discovered. The Kragten method is preferable in the absence of the need to calculate the sensitivity coefficients when calculating the total standard uncertainty, which is important for complex measurement equations.

**Key words:** measurement uncertainty; standard GUM method; Monte Carlo method; Kragten matrix; verification; electromagnetic flowmeter.

**Introduction.** In the Republic of Kazakhstan, uranium mining is carried out by underground leaching – one of the most cost-effective and environmentally friendly mining methods. [1]. At the nodes of receiving and distributing the leach solutions, a large number of industrial electromagnetic flowmeters (EFM) are used to measure the quantities involved; they must be metrologically verified at the end of the calibration interval.

The generally accepted method for calibrating flowmeters using exemplary measuring instruments or calibration facilities accredited to ISO/IEC 17025-2017 can be costly and infeasible, mainly due to the staff and logistics costs associated with removing the flowmeters from the piping system. However, modern flowmeters are equipped with hardware and software that allow on-site verification that meets ISO 9001 requirements. Studies have already been conducted on the calibration of flow meters in the field of water supply and wastewater discharge [2].

The issues of the estimation of measurement uncertainty have been widely covered in terms of analytical measurements [3], the calibration of measuring instruments [3,4], and other studies [5-8]. International organizations have developed and prepared basic documentation for the international harmonization of approaches to solving metrological problems. These include the ISO/IEC 17025:2017 standard; the JCGM 100:2008 Joint Metrology Guidelines document, as the latest revision of GUM:1995, which provides guidance on measuring uncertainty in measurement; the International Dictionary of Metrology JCGM 200:2012, which presents the terms and concepts used in the field of metrology; and

JCGM 101:2008 (Supplement 1 to GUM:1995), which provides practical guidance on using Monte Carlo simulations to estimate uncertainty.

**Methods.** *Standard method* described in GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement), has been applied worldwide for different measuring systems and is currently the standard procedure for estimating uncertainty in metrology [5, 9-11]. The GUM estimation of measurement uncertainty in analytical measurements has been widely reported in the literature [8, 12-14]. Examples of GUM estimation of the uncertainty of temperature, AC voltage, and pressure measurements are given in [13]. Meanwhile, [4] describes uncertainty assessment during the metrological certification of means of measuring the moment of inertia of electric motors.

Due to the complexity of calculations, the analytical estimation of the effective number of degrees of freedom using the Welch-Satterthwaite formula remains an unsolved problem [3]. One approach to overcoming these limitations is to use a convolution of the probability distributions of input quantities, for example, using the Monte Carlo simulation method [15].

The essence of the *Monte Carlo method* is as follows: each time the measurement function is calculated, it generates randomly generated input values that vary around its nominal value within the uncertainty interval in accordance with the distribution law. In [16], examples of the application of the Monte Carlo simulation method for estimating the measurement uncertainty of various practical problems are given: evaluating the real efficiency of a fuel cell, measuring torque, preparing a standard cadmium solution, and measuring the Brinell hardness.

*Kragten method* (spreadsheet method) is recommended for complex expressions to simplify calculations. This procedure uses an approximate numerical method of differentiation and requires only the numerical values of the parameters, and their uncertainties [6]. It assumes either that the measurement model is linear in the input variables or that the uncertainty of the corresponding input quantity is small compared to its value. Kragten method advantage lies in the fact that the correlation between variables can be easily taken into account by adding the appropriate elements in the spreadsheet.

The analysis showed that in most cases, the GUM, Kragten and Monte Carlo methods give almost the same value for the standard uncertainty associated with the estimation of the measured value. The differences become apparent when the distributions are far from normal and the measurement result nonlinearly depends on one or more input quantities. Where there is significant non-linearity, the standard GUM method is not recommended. However, nonlinearity can be taken into account in the GUM by including higher order terms in the calculations [17]. Where the distributions differ significantly from normal, the Kragten and standard GUM methods give a distorted estimate of the standard uncertainty, while the Monte Carlo method allows a determination of the distribution law of the output quantity and, accordingly, displays the real “coverage interval” [18, 19].

The above methods have not yet been applied to the estimation of the uncertainty of flow measurement. This problem is the subject of research in this article. The aim of the work is to study methods for estimating uncertainty during the calibration of flowmeters in situ without removing them from their place of operation.

**Application of methods.** The uncertainty of the industrial flow meter relative error is estimated based on the Standard of the Republic of Kazakhstan ST RK 2.328-2015 “Electromagnetic flow meters: Verification Technique”. This standard proposes the following measurement model:

$$\delta_Q = \frac{Q_r - Q_p}{Q_p} \times 100, \quad (1)$$

where  $Q_r$  is the value of the flow according to the metering values of EFM, and  $Q_p$  is the flow rate according to the indications of the reference Coriolis flowmeter (CFM).

However, this Standard regulates the estimation of the uncertainty of the relative error of electromagnetic flowmeters using only type *B*.

The authors substantiate and propose calculating the uncertainty using not only type *B* but also type *A* [20]. The calculation of type *A* includes statistically processing the results of multiple measurements, namely the calculation of the mathematical expectation, variance, and standard deviation. An estimate of the flow rate  $Q$  is the arithmetic mean of  $n = 11$  observations  $Q_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) for each point being verified ( $j = 4$ ):  $\bar{Q}_p$  - for the reference flow meter;  $\bar{Q}_r$  - for the verified EFM.

The standard measurement uncertainties of the electromagnetic and reference flowmeters using type  $A$  are calculated by the formulas:

$$u_{Aj}(Q_r) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{ri} - \bar{Q}_r)^2}{n(n-1)}}; u_{Aj}(Q_p) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{pi} - \bar{Q}_p)^2}{n(n-1)}}, \quad (2)$$

where  $Q_{ri}$ ,  $Q_{pi}$  are the  $i$ -meter readings at the  $j$  point being verified.

The standard uncertainty of the relative error of type  $A$  at each verified point ( $j = 1, 2, 3, 4$ ) is calculated by the formula:

$$u_{Aj}(\delta) = \sqrt{C_r^2 u_{Aj}(Q_r)^2 + C_p^2 u_{Aj}(Q_p)^2},$$

where  $C_r$  and  $C_p$  are sensitivity coefficients, which are defined as partial derivatives of equation (1) with respect to the corresponding variables.

The final value of the standard uncertainty of the relative error of EFM type  $A$  is:

$$u_A = (\sum_{j=1}^4 u_{Aj}(\delta))/4. \quad (3)$$

To calculate the total standard uncertainty of the EFM relative error, we have:

$$u_C(\delta) = \sqrt{u_A^2(\delta) + u_{B\Sigma}(\delta)}, \quad (4)$$

$u_{B\Sigma}(\delta)$  - the type  $B$  uncertainty calculation includes the relative error uncertainties of the EFM and the reference flow meter in accordance with ST RK 2.328-2015.

The calculation of the expanded uncertainty of the relative error of the EFM is performed according to the formula:

$$U(\delta) = k \cdot u_C(\delta). \quad (5)$$

The measurement result can be written as:  $\delta \pm U(\delta)\%$ ;  $p=0,95$ .

Applying *the Monte Carlo method* requires selecting the quantities of model estimation to be performed and the confidence level  $p$ . It is best to choose a sufficiently large value of  $m$  in comparison with  $1/(1-p)$  (for example, exceeding it by  $10^6$  times).

The simulation of the process of estimating the uncertainty of the EFM relative error is performed as follows:

a) two arrays of random numbers are generated, obeying uniform distribution laws, with a volume of  $m = 10^6$  for input quantities:  $Q_r$  is the result of measuring the flow rate with EFM;  $Q_p$  is the result of measuring the flow with a reference CFM;

b) an array of an estimate of the output value is generated– the relative error of the EFM ( $\delta$ );

c) estimates of the following parameters of the resulting distribution are calculated:

- total standard uncertainty: 
$$u_C(\delta) = \sqrt{\sum_{i=1}^{11} (\delta_i - M(\delta))^2 / 10},$$

where  $M(\delta)$  is the mean of the relative error of the EFM;

- expanded uncertainty: 
$$U(\delta) = \frac{1}{2} [\delta_{975000} - \delta_{25000}];$$

- coverage coefficient: 
$$k = U(\delta) / u_C(\delta);$$

d) the obtained measurement result is written as:  $\delta \pm U(\delta)\%$ ;  $P=0,95$ .

*Kragten method.* The spreadsheet method is recommended for complex expressions in order to simplify calculations.

In the expression for the uncertainty of the EFM relative error:

$$u(\delta(Q_r, Q_p)) = \sqrt{\sum_{i=r,p} \left(\frac{\partial \delta}{\partial Q_i}\right)^2 u(Q_i)^2}$$

the partial differentials  $(\partial \delta / \partial Q_r)$ ,  $(\partial \delta / \partial Q_p)$  are approximated by finite differences.

This method provides acceptable accuracy for practical purposes when it is considered taking into account the necessary approximations made when evaluating the values  $u(Q_i)$ . In [6], this question is discussed more fully.



The total standard uncertainty of the relative EFM error is calculated by the formula:

$$u(\delta) = \sqrt{u^2(\delta, Q_r) + u^2(\delta, Q_p)}.$$

Expanded uncertainty of the EFM relative error:

$$U(\delta) = k \cdot u(\delta).$$

The measurement result is written as:  $\delta \pm U(\delta)\%$ ;  $P=0,95$ .

**Results of the experiments.** The EFM calibration experiments were carried out on a physical model of the geo-technological information and metrological complex (GIMC) in the laboratory of the Department “Automation and Control” of the Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeev.

The metrologist’s workstation interface for the verification developed in the software LabView (NI, USA) is shown in figure 1.

The operator manually enters the environmental conditions and the parameters of the fluid being verified (leaching solution). The verification process includes measurements at four verified points. At each point on the “forward” and “return” paths of the regulated valve, eleven flow values are measured using the calibrated EFM and the reference CFM. The experimental results are entered into the database of flowmeter readings, which are then used in the program to calculate the uncertainty of the relative error of the calibrated flowmeter, also developed in LabView [21]. Data from the database of flowmeter readings are used to calculate the uncertainty of the relative error of the calibrated flowmeter using three methods: GUM, Monte Carlo, and Kragten.

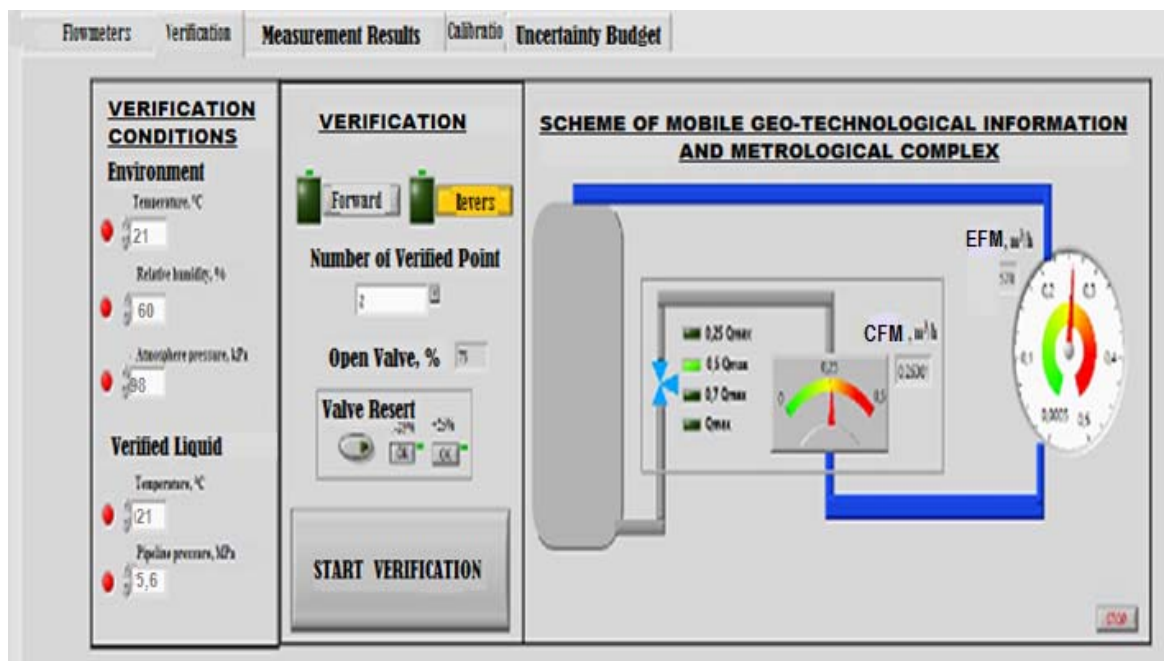


Figure 1 – The interface of the metrologist’s workstation for verification

The result of estimating the uncertainty of the relative error of the verified flow meter using the GUM method and the Monte Carlo method of the 4th verified point ( $Q=5700 \text{ dm}^3/\text{h} = 95\% Q_{\text{max}}$ ) is presented as an uncertainty budget [22].

The results of applying the GUM, Monte Carlo, and Kragten methods for four control points when calibrating an electromagnetic flow meter are shown in table 1 (estimates of relative error -  $\delta$ , expanded uncertainty -  $U$ , repeatability limit (convergence) -  $u_r$ , coverage interval -  $CI$ ).

Table 1 – Comparative table of the calculated values for the four control points using the GUM, Monte Carlo, and Kragten methods

Verified point	Estimated parameters, %	GUM method	Kragten method	Monte Carlo method	D1, %	D2, %
95% of $Q_{max}$	$\delta$	0.007	0.007	0.007	0	0
	$U$	0.689	0.701	0.654	1,8	5,0
	$u_r$	0.352	0.358	0.337	1.6	
	CI	[-0.682; 0.696]	[-0.694; 0.708]	[-0.651; 0.665]		
75% of $Q_{max}$	$\delta$	-0.003	-0.003	-0.003	0	0
	$U$	0.677	0.667	0.654	1.5	3,4
	$u_r$	0.345	0.340	0.333	1.4	4.2
	CI	[-0.680; 0.674]	[-0.670; 0.664]	[-0.654; 0.648]		
50% of $Q_{max}$	$\delta$	0.015	0.015	0.01	0	33,3
	$U$	0.839	0.855	0.656	2	21,8
	$u_r$	0.428	0.437	0.335	2	21.7
	CI	[-0.734; 0.944]	[-0.750; 0.960]	[-0.645; 0.665]		
25% of $Q_{max}$	$\delta$	0.011	0.0112	0.005	0.4	54,5
	$U$	0.768	0.783	0.655	1.9	14,7
	$u_r$	0.392	0.391	0.334	0.26	14.8
	CI	[-0.655; 0.881]	[-0.655; 0.881]	[-0.653; 0.658]		

According to table 1, graphs of the dependence of the uncertainty of the relative error on the experiment number ( $x$  – axis - experiment number), obtained by both methods were plotted (figure 2).

The graphs obtained using the Monte Carlo method (MC - solid white lines) show a constant value of the dispersion of the uncertainty of the relative error within  $\pm 0.65\%$ . The graphs obtained using the GUM method (GUM - dashed yellow lines) show the changing values of the spread of uncertainty of the relative error within  $\pm 0.9\%$ . In this case, the limit of the permissible relative error of the EFM is  $\pm 1\%$ . The graphs obtained using the Kragten method (MKr - solid blue lines) essentially repeat the GUM graphs.

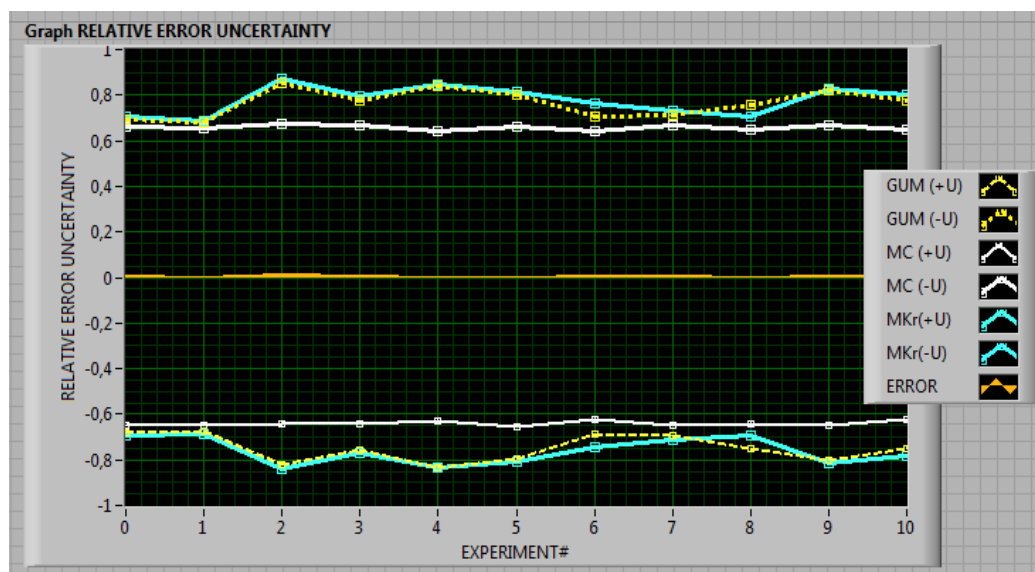


Figure 2 – Comparison of obtained relative error by three methods (Uncertainty of the relative error vs the number of experiment)

**Discussion.** The authors performed a comparative analysis of the considered Monte Carlo and Kragten uncertainty estimation methods and the recommended standard GUM method. In a comparative analysis of the data from Table 1 and Figure 2, we can draw the following conclusions.

A comparison of the GUM and Kragten methods (data from column D1 in Table 1) showed that there are no differences between the estimates of the measured value (relative error), the differences between the expanded uncertainty and repeatability are less than 2%, and the coverage interval does not exceed  $\pm 1\%$  for each verified point in both methods.

The comparison of the GUM and Monte Carlo methods (data of column D2 in Table 1) showed that the differences between the estimates of the measured value (relative error) reach 55%, the differences between the expanded uncertainty and repeatability are not more than 21.8%, and the coverage interval does not exceed  $\pm 1\%$  for each verified point in both methods.

The large differences between the Kragten or GUM methods on the one hand and the Monte Carlo method on the other hand indicate significant deviations from the normality of the distribution of input quantities.

The calculations showed that all three methods (GUM, Kragten, and Monte Carlo) give values of standard uncertainty that do not exceed the permissible range of the relative error of EFM ( $\pm 1\%$ ).

The Monte Carlo method with a sufficiently large number of simulations gives a better approximation. However, Monte Carlo calculations take longer (due to the sorting and processing of large arrays), although they can be performed by less qualified personnel (no in-depth knowledge of mathematics is required). The Monte Carlo method can be considered as a practical alternative to the GUM uncertainty estimation method.

The Kragten method gives results similar to the GUM method. No significant differences between the results obtained by the GUM and the Kragten methods were noted. The Kragten method is preferable in the absence of the need to calculate the sensitivity coefficients when calculating the total standard uncertainty, which is important for complex measurement equations. The Kragten method is recommended as a less time-consuming tool for calculations.

**С. Г. Хан<sup>1</sup>, Л. К. Ибраева<sup>1</sup>, Н. В. Сябина<sup>1</sup>, З. М. Юлдашев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>«Ғ. Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» КЕАҚ, Алматы, Қазақстан;

<sup>2</sup>Санкт-Петербург мемлекеттік электротехника университеті, Санкт-Петербург, Ресей

#### **ӨНЕРКӘСІПТІК ШЫҒЫН ӨЛШЕГІШТЕР БЕЛГІСІЗДІГІН ЕСЕПТЕУ ӘДІСТЕРІН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ҚОЛДАНАУ**

**Аннотация.** Қазақстан Республикасында уран өндіру жерасты шаймалау әдісімен жүзеге асырылады әрі бұл өндірудің ең тиімді және экологиялық таза әдістерінің бірі. Бұл әдіске сәйкес шаймалау ерітіндісі айдау ұңғымалары арқылы беріледі, ал құрамында уран кездесетін ерітінді сору ұңғымасы арқылы сорылады. Жер қойнауы іс жүзінде бұзылмайды және тіпті бірнеше жыл ішінде толығымен қалпына келтіріледі. Сілтісіздендіру ерітіндісін қабылдау және тарату тораптарында мөлшерін өлшеу үшін көптеген өнеркәсіптік электрмагниттік шығын өлшегіштер қолданылады, олар тексеру аяқталғаннан кейін метрологиялық тексеруден өтуі керек. Үлгілі өлшеу құралдарын немесе ИСО/МЭК 17025-2017 стандарты бойынша аккредиттелген калибрлеу қондырғыларын қолданатын шығын өлшегіштерді калибрлеудің жалпы қабылданған әдісі қымбат және кейде қолжетімсіз болып жатады, негізінен қызмет көрсететін қызметкер жалақысы мен құбыр жүйесінен шығын өлшегішті алып тастауға байланысты логистикалық шығындар болып келеді. Авторлар пайдалану орны бойынша өнеркәсіптік шығын өлшегіштерді тексеру процедурасын жүргізуге арналған жылжымалы метрологиялық кешеннің физикалық стендін әзірледі.

Қазақстандық сәйкестік сертификаттарын және өнімге сынақ нәтижелерін тануға жағдай жасау үшін өлшеудің айқын еместігін бағалау талап етіледі. Осыған байланысты Қазақстанда өлшеудің белгісіздік тұжырымдамасын практикалық қолданудың жанданғаны байқалады. Метрологиялық есептерді шешу кезінде қолданылатын амалдарды халықаралық үйлестіру үшін халықаралық ұйымдар келесі негізгі құжаттарды әзірледі және дайындады: ИСО/МЭК 17025:2017 стандарты; соңғы толықтырылған редакциясы ретінде GUM:1995; өлшеудің айқын еместігін бағалау жөніндегі ұсынымдарды қамтитын метрология бойынша Біріккен комитеттің JCGM 100:2008 құжаты; метрология саласында пайдаланылатын барлық терминдер мен ұғымдар қамтылған метрология бойынша JCGM 200:2012 халықаралық сөздік; JCGM 101:2008 нұсқаулығы (GUM-ға толықтыру 1:1995).

Мақалада халықаралық құжаттарда ұсынылған айқын еместікті бағалаудың келесі үш әдісіне шолу жасалды: стандартты GUM, Монте-Карло және Крагтен әдістері. Шығынды өлшеудің белгісіздігін бағалау әдістері бұған дейін қолданылмаған. Бұл мәселе мақаланың зерттеу нысаны болып саналады. Өнеркәсіптік электрмагниттік шығын өлшегіштің салыстырмалы қатесінің белгісіздігін бағалау үшін осы әдістерді қолдану зерттеледі.

Авторлар техникалық шығын өлшегіштерді тексеру нәтижелерін алу үшін метрологиялық кешен құрамына «Метролог» автоматтандырылған жұмыс орнын (АЖО) қосқан, бұл АЖО құрамында NI LabView графикалық бағдарламалау ортасында әзірленген электрмагниттік шығын өлшегіштің анықталмағандығын есептеу бағдарламалары орнатылған. Сонымен қатар, зерттеулер жүргізу үшін өнеркәсіптік шығын өлшегіштердің салыстырмалы қатесінің белгісіздігін бағалау моделі ұсынылған. Электрмагниттік шығын өлшегіштің белгісіздігін бағалау бойынша үш әдіс негізінде, атап айтқанда, стандартты GUM, Монте-Карло және Крагтенмен есептелді.

Метрологиялық кешендегі тәжірибелік нәтижелері мен электрмагниттік шығын өлшегіштің салыстырмалы қатесінің белгісіздігін бағалау нәтижелеріне салыстырмалы талдау келтірілген. Орындаған есептеу жұмыстары келесідей нәтиже көрсетті: барлық үш әдіс (GUM, Крагтен және Монте-Карло) электрмагниттік шығын өлшегіштің салыстырмалы қате диапазонынан ( $\pm 1\%$ ) аспайтын стандартты белгісіздік мәнін береді.

Монте-Карло әдісі имитация арқылы жақындауға мүмкіндік береді. Алайда Монте-Карло әдісімен есептеу көп уақытты алады (үлкен массивтерді сұрыптау және өңдеу себебінен), бірақ оны квалификациясы төмен қызметкерлер орындай алады (математиканы терең білудің қажеті жоқ). Монте-Карло әдісін белгісіздікті бағалаудың GUM әдісіне практикалық балама ретінде қарастыруға болады [19].

Крагтен әдісі GUM әдісіне ұқсас нәтиже көрсетеді. GUM және Крагтен әдістері бойынша алынған нәтижелер арасындағы айтарлықтай айырмашылықтар байқалмады.

Жалпы стандартты белгісіздікті есептеуде сезімталдық коэффициентін есептеу қажеттілігінің жоқтығына байланысты күрделі өлшеу теңдеуі қолданылғанда Крагтен әдісі қолайлы келеді. Есептеуді орындау үшін Крагтен әдісі аз уақытты қажет ететін құрал ретінде ұсынылады.

**Түйін сөздер:** өлшеудің айқын еместігі, стандартты GUM әдісі, Монте-Карло әдісі, Крагтен кестесі, тексеру, электрмагниттік шығын өлшегіш.

С. Г. Хан<sup>1</sup>, Л. К. Ибраева<sup>1</sup>, Н. В. Сябина<sup>1</sup>, З. М. Юлдашев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НАО «Алматинский университет энергетики и связи им. Г. Даукеева», Алматы, Казахстан;

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский Государственный электротехнический университет, Санкт-Петербург, Россия

## ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ РАСХОДОМЕРОВ

**Аннотация.** В Республике Казахстан добыча урана осуществляется методом подземного выщелачивания - одним из самых рентабельных и экологически чистых способов добычи. Согласно этому методу выщелачивающий раствор подается через закачные скважины, а продуктивный раствор, содержащий уран, откачивается через откачную скважину. Недр практически не разрушаются и даже полностью восстанавливаются в течение нескольких лет. На узлах приема и распределения выщелачивающих растворов для измерения их количества используется большое количество промышленных электромагнитных расходомеров (ЭМР), которые по истечению межповерочного интервала должны проходить метрологическую поверку. Общепринятый метод калибровки расходомеров с применением образцовых средств измерений или с помощью калибровочных установок, аккредитованных по стандарту ИСО/МЭК 17025:2017, может быть дорогостоящим и иногда неосуществимым, главным образом из-за затрат на оплату труда обслуживающего персонала и затрат на логистику, связанных с удалением расходомера из системы трубопроводов. Авторами разработан физический стенд передвижного метрологического комплекса, предназначенного для проведения процедуры поверки промышленных расходомеров по месту эксплуатации.

Для создания условий признания казахстанских сертификатов соответствия и результатов испытаний на продукцию требуется оценка неопределенности измерений. В связи с этим наблюдается активизация практического применения в Казахстане концепции неопределенности измерений. Международными организациями разработаны и подготовлены основные документы по международной гармонизации подходов при решении метрологических задач: стандарт ИСО/МЭК 17025:2017; документ Объединенного комитета руководств по метрологии JCGM 100:2008, как последняя дополненная редакция GUM:1995, которая содержит рекомендации по оценке неопределенности в измерении; международный словарь по метрологии JCGM 200:2012, где представлены все термины и понятия, используемые в области метрологии; руководство JCGM 101:2008 (Дополнение 1 к GUM:1995).

В статье приведен обзор трех методов оценивания неопределенности, рекомендуемых международными документами: стандартным GUM, Монте-Карло и Крагтена. Приведенные методы не применялись к оценке неопределенности измерения расхода. Эта задача является предметом исследования настоящей статьи.

Исследовано применение этих методов для оценивания неопределенности относительной погрешности промышленного электромагнитного расходомера.

Для получения результатов проверки технических расходомеров авторами в состав метрологического комплекса включен АРМ «Метролог» с разработанными в среде графического программирования NI LabView программами расчета неопределенности электромагнитного расходомера.

Кроме того, предложена модель оценивания неопределенности относительной погрешности промышленных расходомеров для проведения исследований. Расчеты по оценке неопределенности измерений электромагнитного расходомера проведены тремя методами: стандартным GUM, Монте-Карло и Крагтена.

Приведены результаты экспериментов на метрологическом комплексе и сравнительный анализ результатов оценивания неопределенности относительной погрешности электромагнитного расходомера. Выполненные расчеты показали, что все три метода (GUM, Крагтена и Монте-Карло) дают значения стандартной неопределенности, не превышающие допустимый диапазон относительной погрешности ЭМП ( $\pm 1\%$ ).

Метод Монте-Карло при достаточно большом числе имитаций дает лучшее приближение. Однако расчет по методу Монте-Карло занимает больше времени (за счет сортировки и обработки больших массивов), но может выполняться менее квалифицированным персоналом (не требуется глубокого знания математики). Метод Монте-Карло можно рассматривать как практическую альтернативу методу оценки неопределенности GUM [19].

Метод Крагтена дает результаты аналогичные методу GUM. Существенные различия между результатами, полученными по GUM и методу Крагтена, не отмечены.

Метод Крагтена предпочтителен ввиду отсутствия необходимости расчета коэффициентов чувствительности при вычислении суммарной стандартной неопределенности, что имеет значение при сложных уравнениях измерений. Метод Крагтена рекомендуется как менее трудоемкий инструмент для расчетов.

**Ключевые слова:** неопределенность измерения; стандартный метод GUM, метод Монте-Карло, таблица Крагтена, поверка; электромагнитный расходомер.

#### **Information about authors:**

Khan Svetlana Guryevna, PhD, Professor of Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, Kazakhstan; khan.sv2011@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-7918-6690>

Ibrayeva Lida Kuandykovna, PhD, Professor of Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, Kazakhstan; ibrayeva\_ik@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8342-6685>

Syabina Natalya Valeryevna, PhD, Docent of Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, Kazakhstan; n.syabina@aues.kz; <https://orcid.org/0000-0003-2308-5652>

Yuldashev Zafar Mukhamedovich, Doctor of Technical Sciences, Professor of Saint Petersburg Electrotechnical University, Saint Petersburg, Russia; yuld@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1075-3420>

#### **REFERENCES**

[1] Oryngozhin Ye.S., Yeregin N.A., Metaxa G.P., Alisheva Zh.N. Underground uranium borehole leaching. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technology sciences. ISSN 2518-170X (Online), ISSN 2224-5278 (Print). Vol. 4, N 442 (2020), 62-69. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.85>.

[2] Possolo A. Statistical models and computation to evaluate measurement uncertainty. *Metrologia*. 2014; 51: 228-236.

[3] Ellison S.L.R. Implementing measurement uncertainty for analytical chemistry: The Eurachem guide for measurement uncertainty. *Metrologia*. 2014; 51: 199-205.

[4] Vasilevskiy O.M. Calibration method to assess the accuracy of measurement devices using the theory of uncertainty. *International Journal of Metrology and Quality Engineering (IJMQE)*. Int. J. Metrol. Qual. Eng. 5, 403 (2014).

[5] Ehrlich C. Terminological aspects of the guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM). *Metrologia*. 2014; 51: 145-154.

[6] Kragten J. Calculating standard deviations and confidence intervals with a universally applicable spreadsheet technique, *Analyst*, 119, 2161-2166 (1994).

[7] Lepek A. A computer program for a general case evaluation of the expanded uncertainty. *Accreditation and Quality Assurance*. 2003; 8: 296-299.

[8] Marcus Augusto Lyrio Traple, Alessandro Morais Saviano, Fabiane Lacerda Francisco, Felipe Rebello Lourenço. Measurement uncertainty in pharmaceutical analysis and its application. *Journal of pharmaceutical analysis*, 2014.

[9] Bich W., Cox M., Michotte C. Towards a new GUM. An update. *Metrologia*. 2016; 53: 149-159.

[10] Bich W., Cox M.G., Dybkaer R., Elster C., Estler W.T., Hibbert B., Imai H., Kool W., Michotte C., Nielsen L., Pendrill L., Sidney S., Van der Veen A.M.H., Woger W. Revision of the 'guide to the expression of uncertainty in measurement'. *Metrologia*. 2012; 49: 702-705.

- [11] Bich W. Revision of the 'guide to the expression of uncertainty in measurement'. Why and how. *Metrologia*. 2014; 51: 155-158.
- [12] Massart D.L., Vandeginste B.G.M., Buydens L.M.C., Jong S., Lewi P.J., Smeyers-Verbeke J. *Data Handling in Science and Technology*. Vol. 20. *Handbook of Chemometrics and Qualimetrics: Part A*. Amsterdam: Elsevier; 1997.
- [13] *Measurement Uncertainty Analysis Principles and Methods*. NASA-HDBK-8739. 19-3. Approved: 2010-07-13.
- [14] Meyer V.R. Measurement uncertainty. *Journal of Chromatography A*. 2007; 1158: 15-24.
- [15] Paulo R.G. Couto, Jailton C. Damasceno, Sergio P. de Olivera. *Monte Carlo Simulations Applied to Uncertainty in Measurement*. <http://dx.doi.org/10.5772/53014> ).
- [16] Sediva S. and Havlikova M. "Comparison of GUM and Monte Carlo method for evaluation measurement uncertainty of indirect measurements," *Proceedings of the 14th International Carpathian Control Conference (ICCC)*, Rytro, 2013. P. 325-329.
- [17] EURACHEM/CITAC Guide CG4. *Quantifying uncertainty in analytical measurement*, 3rded./Ed.S.L.R. Ellison (LGC,UK), A.Williams (UK), 2012. 141p.
- [18] Antonio Gustavo González, María Ángeles Herrador, Agustín García Asuero and Julia Martín A Practical Way to ISO/GUM Measurement Uncertainty for Analytical Assays Including In-House Validation Data. 2017. DOI: 10.5772/intechopen.72048.
- [19] Stant L.T., Aaen P.H., Ridler N.M. Comparing methods for evaluating measurement uncertainty given in the JCGM 'Evaluation of Measurement Data' documents // *Measurement*. December 2016. Vol. 94. P. 847-851. [doi.org/10.1016/j.measurement.2016.08.015](https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.08.015).
- [20] Zhusupbekov S.S., Ibrayeva L.K., Khan S.G., Komada P. The Experience of Application of Measurement Uncertainty Evaluation Methods In Calibration // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technology sciences*. ISSN 2518-170X (Online), ISSN 2224-5278 (Print). Vol. 4, N 436 (2019), 79-85.
- [21] Khan S., Tashibayeva A. Development of program for estimating the measurement uncertainty at the calibration of electromagnetic flowmeters: *Bulletin of AUPET* (ISSN 1999-9801), Almaty. 2017, 2 (37). P. 27-34.
- [22] Zhusupbekov S.S., Khan S.G., Ibrayeva L.K. The analysis of approaches to measurement uncertainty evaluation for calibration. *Informatyka, Automatyka, Pomiar w Gospodarcei Ochronie Środowiska - IAPGOS (Informatics, Control, Measurement in Economy and Environmental Protection)*. 2019. Vol. 9, N 3. P. 26-29. <https://doi.org/10.35784/iapgos.233>.

**Publication Ethics and Publication Malpractice  
in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct ([http://publicationethics.org/files/u2/New\\_Code.pdf](http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf)). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)

**ISSN 2518-170X (Online), ISSN 2224-5278 (Print)**

<http://www.geolog-technical.kz/index.php/en/>

Редакторы *М. С. Ахметова, Д. С. Аленов, А. Ахметова*  
Верстка *Д. А. Абдрахимовой*

Подписано в печать 15.12.2020.  
Формат 70x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.  
17,6 п.л. Тираж 300. Заказ 6.