

12-25-2021

## UNCERTAINTY OF THE ULTRASONIC METHOD FOR DETERMINING THE STRENGTH OF CONCRETE

Ortagoli Sharipovich Hakimov

*Professor, doctor of technical sciences, Tashkent Institute of Architecture and Civil Engineering E-mail: ortagoli@yandex.ru,, ortagoli@yandex.ru*

Zamira Khudoyberdiyevna Ernazarova

*Tashkent State Technical University, Address: 2 Universitetskaya st., 100095, Tashkent city, Republic of Uzbekistan, E-mail: zamira-ernazarova@mail.ru., zamira-ernazarova@mail.ru*

Follow this and additional works at: <https://ijctcm.researchcommons.org/journal>

 Part of the [Complex Fluids Commons](#), [Controls and Control Theory Commons](#), [Industrial Technology Commons](#), and the [Process Control and Systems Commons](#)

---

### Recommended Citation

Hakimov, Ortagoli Sharipovich and Ernazarova, Zamira Khudoyberdiyevna (2021) "UNCERTAINTY OF THE ULTRASONIC METHOD FOR DETERMINING THE STRENGTH OF CONCRETE," *Chemical Technology, Control and Management*: Vol. 2021: Iss. 6, Article 4.

DOI: <https://doi.org/10.51346/tstu-02.21.6-77-0048>

This Article is brought to you for free and open access by Chemical Technology, Control and Management. It has been accepted for inclusion in Chemical Technology, Control and Management by an authorized editor of Chemical Technology, Control and Management. For more information, please contact [app-tgtu@mail.ru](mailto:app-tgtu@mail.ru).



ISSN 1815-4840, E-ISSN 2181-1105

Himičeskaâ tehnologiâ. Kontrol' i upravlenie

## CHEMICAL TECHNOLOGY. CONTROL AND MANAGEMENT

2021, №6 (102) pp.27-31. <https://doi.org/10.51346/tstu-02.21.6-77-0048>

International scientific and technical journal  
journal homepage: <https://uzjournals.edu.uz/ijctcm/>



Since 2005

UDC: 389.001.4

### UNCERTAINTY OF THE ULTRASONIC METHOD FOR DETERMINING THE STRENGTH OF CONCRETE

Khakimov Ortagoli Sharipovich<sup>1</sup>, Ernazarova Zamira Khudoyberdiyevna<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Professor, doctor of technical sciences, Tashkent Institute of Architecture and Civil Engineering  
E-mail: ortagoli@yandex.ru;

<sup>2</sup>Tashkent State Technical University, Address: 2 Universitetskaya st., 100095, Tashkent city, Republic of Uzbekistan,  
E-mail: zamira-ernazarova@mail.ru.

**Abstract:** The issues of measuring the strength of concrete by the method of surface sounding by ultrasound are considered. A measurement model and formulas for estimating the total standard measurement uncertainty, information about the standards used, measurement tools and methods, and environmental parameters are given. Information about the estimation of uncertainty in the form of "eight steps", such as: measurement task; mathematical model of measurement; analysis of input values; observation results; correlations; uncertainty budget; expanded uncertainty; measurement result. It has been established that the uncertainty of type B of the ultrasonic method for determining the strength of concrete is much less than the uncertainty of type A. To facilitate the direct calculation of the value of the total standard uncertainty of the output quantity, generalization and visual presentation of all received and analyzed information about the input quantities in the form of a table - the uncertainty budget. An uncertainty budget can also be used to analyze the contributions from each source of uncertainty to the total uncertainty in order to determine the accuracy of the measurement process, adjust the measurement model, or find ways to reduce the influence of some sources of uncertainty. Assuming a normal distribution with a confidence level of approximately 95% and a coverage factor of  $k = 2$ , an expanded uncertainty value is obtained.

**Key words:** uncertainty, concrete, control, concrete strength, ultrasonic method, surface sounding.

**Аннотация.** Ультратовуш ёрдамида сиртни зондаш усули билан бетоннинг мустаҳкамлигини ўлчаши масалалари кўриб чиқилган. Умумий стандарт ўлчаши ноаниқлигини баҳолаш учун ўлчаши модели ва формулалар, фойдаланилган стандартлар, ўлчаши воситалари ва усуллари, атроф-муҳит параметрлари ҳақида маълумот берилган. Ноаниқликни "саккиз босқич" шаклида баҳолаш ҳақида маълумот, масалан: ўлчов вазифаси; ўлчашининг математик модели; киритилган қийматларни таҳлил қилиши; кузатиши натижалари; корреляциялар; ноаниқлик бюджети; кенгайтирилган ноаниқлик; ўлчаши натижаси. Бетоннинг мустаҳкамлигини аниқлаш учун ультратовуш усулининг Б типдаги ноаниқлиги А типдаги ноаниқликдан анча паст эканлиги аниқланган. Чиқishi миқдорининг умумий стандарт ноаниқлигининг қийматини тўғридан-тўғри ҳисоблашни осонлаштириши, кириши миқдорлари тўғрисидаги барча олинган ва таҳлил қилинган маълумотларни жадвал шаклида умумлаштириши ва визуал тақдим этиши – ноаниқлик бюджети. Ноаниқлик бюджети, шунингдек ўлчаши жараёнининг тўғрилигини аниқлаш, ўлчаши моделини тўғрилаш ёки ноаниқликнинг айрим манбаларининг таъсирини камайтириши йўллари топиши учун ноаниқликнинг ҳар бир манбасидан умумий ноаниқликка қўшилган ҳиссаларни таҳлил қилиши учун ҳам ишлатилиши мумкин. Ишонч даражаси тахминан 95 % ва қоплаш омили  $k=2$  бўлган нормал тақсимотни қабул қилсак, кенгайтирилган ноаниқлик қиймати олинади.

**Таянч сўзлар:** ноаниқлик, бетон, назорат, бетоннинг мустаҳкамлиги, ультратовуш усули, сиртни зондаш.

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы измерения прочности бетона методом поверхностного прозвучивания ультразвуком. Приведены модель измерения и формулы для оценки суммарной стандартной неопределенности измерения, сведения о используемых стандартах, средствах и методах измерений, параметрах окружающей среды. Сведения о оценивании неопределенности в виде «восьми шагов», таких как: измерительная задача; математическая модель измерения; анализ входных величин; результаты наблюдений; корреляции; бюджет неопределенности; расширенная неопределенность; результат измерений. Установлено, что неопределенность типа В ультразвукового метода определения прочности бетона намного меньше неопределенности типа А. Для облегчения непосредственного расчета значения суммарной стандартной неопределенности выходной величины, обобщения и наглядное представления всей полученной и проанализированной информации о входных величинах в виде таблицы -

бюджета неопределенности. Бюджет неопределенности может также использоваться для анализа вкладов от каждого источника неопределенности в суммарную неопределенность с целью определения точности измерительного процесса, корректировки модели измерения или поиска способов уменьшения влияния некоторых источников неопределенности. Предполагая нормальное распределения при уровне доверия приблизительно 95 % и коэффициента охвата  $k = 2$ , получено значение расширенной неопределенности.

**Ключевые слова:** неопределенность, бетон, контроль, прочность бетона, ультразвуковой метод, поверхностное прозвучивание.

## Введение

В настоящее время в Узбекистане проводится многоплановая работа по внедрению национального стандарта O'z DSt ISO/IEC 17025:2019 [1], идентичного международному стандарту ISO/IEC 17025:2019 [2], одним из основных требований которого является оценка неопределенности измерений.

Неопределенность стала единственной и признанной на международном уровне мерой доверия к результатам измерений, в соответствии с Руководством по выражению неопределенности в измерениях (GUM) [3, 4], которое установило общие правила для оценивания и выражения неопределенности в широком спектре измерений в виде так называемой "концепции неопределенности".

## Методы исследования и полученные результаты

Общая схема оценивания неопределенности, представленная в [3, 4] в виде так называемых «восьми шагов», таких как: измерительная задача; математическая модель измерения; анализ входных величин; результаты наблюдений; корреляции; бюджет неопределенности; расширенная неопределенность; результат измерений.

Эти шаги (этапы) некоторым образом способствуют единообразию при разработке различных методик оценивания неопределенности и последующему расчету неопределенности.

Применительно к рассматриваемому нами вопросу – оценивание неопределенности ультразвукового метода определения прочности бетона на перечисленных этапах – приводятся сведения об используемых стандартах, средствах и методах измерений, параметрах окружающей среды, осуществляемых операциях и вычислениях.

На этапе выполнения измерительной задачи приводятся следующие сведения: прочность бетона определяют по ГОСТ 17624 [5-9]. Ультразвуковой метод определения прочности бетона - неразрушающий метод, основанный на зависимости косвенной характеристики (показания прибора для измерения времени или скорости распространения ультразвука в бетоне) от прочности бетона.

Измерения проводят методами сквозного или поверхностного прозвучивания. Скорость ультразвука  $V$ , м/с, вычисляют по формуле [5]

$$V = \frac{l}{t} \cdot 10^3, \quad (1)$$

где  $t$  – время распространения ультразвука,  $\mu\text{s}$ ;  $l$  – расстояние между преобразователями (база прозвучивания), мм.

Предел допускаемой абсолютной погрешности измерения времени распространения ультразвука на стандартных образцах не должен превышать значения

$$\Delta = \pm (0,01t + 0,1), \quad (2)$$

При использовании нескольких приборов при контроле прочности бетона погрешность их показаний не должна превышать 0,5 %. Число измерений  $n=3$  – при сквозном прозвучивании,  $n=4$  – при поверхностном. Отклонение отдельного результата измерения косвенного показателя в каждом образце от среднеарифметического значения результатов измерений для данного образца не должно превышать 2 %. Результаты, не удовлетворяющие указанному условию, не учитывают при расчете среднеарифметического значения. Относительная погрешность измерения базы прозвучивания не должна превышать 0.5 %.

**Этап - составление математической модели (функции) измерений.** Уравнение градуировочной зависимости (косвенный показатель — прочность) принимают линейным по формуле [5]

$$R = 0.0155V - 27, \quad (3)$$

где  $R$  – прочность бетона, МПа;  $V$  – скорость ультразвука.

Измеренное значение прочности  $R$  округляется с точностью до 0,01 МПа.

Результаты испытаний (после удаления промахов) представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты испытаний					
Номер участка	V, м/с	R= 0.0155V – 27, МПа	Номер участка	V, м/с	R= 0.0155V – 27, МПа
1	3245	23,3	10	3840	32,5
2	2470	11,3	11	3400	25,7
3	3095	21,0	12	3255	23,5
4	2870	17,5	13	3940	34,1
5	4320	40,0	14	4070	36,1
6	3615	29,0	15	3340	24,8
7	2655	14,2	16	2940	18,6
8	3780	31,6	17	3130	21,5
9	3490	27,1	18	3305	24,2

**Этап - анализ входных величин.** После построения градуировочной зависимости по (3) проводят ее корректировку путем отбраковки единичных результатов испытаний, не удовлетворяющих условию

$$\frac{|R_{iH} - R_{i\Phi}|}{S} \leq 2. \quad (4)$$

где  $S$  – остаточное среднеквадратическое отклонение, определяемы по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (R_{i\Phi} - \bar{R}_{jH})^2}{N-2}}, \quad (5)$$

где  $R_{jH}$  – прочность бетона на  $j$ -м участке, определяемая по градуировочной зависимости по формуле:

$$R_{jH} = a_j H + b_j. \quad (6)$$

Определенные по формулам (7) и (8) средние значения прочности по результатам испытаний  $\bar{R}_{\Phi}$  равны 25,05 МПа и скорости ультразвука  $\bar{V}$  3396 м/с.

Коэффициенты  $a=0,0145$  и  $b=-24,19$  определяют по формулам (5) и (6).

Установленная градуировочная зависимость описывается уравнением

$$R = 0.0145V - 24,19.$$

Определенное по формуле (5) остаточное среднеквадратическое отклонение  $S=4,29$  МПа.

Сравнивая для различных участков значения фактической прочности  $R_{i\Phi}$  с прочностью  $R_{iH}$ , определенной по градуировочной зависимости, устанавливают, что условие (4) не выполняется для результатов на участке 19. которые подлежат отбраковке.

**Этап - анализ корреляций.** Коэффициент корреляции градуировочной зависимости  $r$  определяют по формуле

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N [(R_{iH} - \bar{R}_H) \cdot (R_{i\Phi} - \bar{R}_{\Phi})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (R_{iH} - \bar{R}_H)^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^N (R_{i\Phi} - \bar{R}_{\Phi})^2}}, \quad (7)$$

где  $\bar{R}_H = \frac{\sum_{i=1}^N R_{iH}}{N}$ .

Применение градуировочной зависимости для определения прочности бетона в соответствии с требованиями стандарта ГОСТ 17624 [5] допускается только для значений косвенного показателя, попадающего в диапазоне от  $H_{\min}$  до  $H_{\max}$ .

Если коэффициент корреляции  $r < 0,7$  или среднеквадратическое отклонение градуировочной зависимости  $S_{Т.М.Н}/\bar{R} > 0.15$ , то контроль и оценка прочности по градуировочной зависимости не допускаются.

Прочность бетона классов прочности В20—В25 контролируют в конструкции ультразвуковым методом поверхностного прозвучивания [5]. Результаты испытаний приведены в графах 2 и 3 таблицы 1.

**Этап - Измеренное значение величины.** Оценки измеряемой величины приведены в таблице 1.

**Этап – суммарная стандартная неопределенность.** Суммарная стандартная неопределенность - стандартная неопределенность выходной величины  $Y$ , получается путем суммирования стандартных неопределенностей входных величин, оцененных по типу А  $u_A(x_i)$  и по типу В  $u_B(x_i)$ .

Неопределенности типа А, как известно [4], оцениваются с применением статистических методов (путем обработки результатов многократных измерений) по формуле

$$u_A(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n \cdot (n-1)}} \quad (8)$$

где  $n$  – количество наблюдений,  $i$  – порядковый номер наблюдения,  $x_i$  – численное значение (результат)  $i$ -го наблюдения измеряемой (искомой) величины,  $\bar{x}$  – среднее арифметическое значение искомой величины.

Применив (8) к результатам измерений, приведенным в табл. 1, а именно: к скорости ультразвука  $V$  (2-й столбец), к прочности бетона  $R_\phi$ , определенная при испытании образцов методом отрыва со скалыванием по ГОСТ 22690 (3-й столбец), к прочности бетона  $R$ , рассчитанные по уравнению градуировочной зависимости  $R = 0.0155V - 27$  (4-й столбец), соответственно, получим неопределенности типа А в абсолютной и относительной формах:

$$u_A(\bar{V}) = 115,82 \frac{m}{s}, \quad u_A(\bar{R}_\phi) = 1,96 \text{ МПа}, \quad u_A(\bar{R}) = 1,80 \text{ МПа}.$$

$$u_A(\bar{V}) = 3,4 \%, \quad u_A(\bar{R}_\phi) = 7,8 \%, \quad u_A(\bar{R}) = 7,1 \%.$$

Когда информация о величине является нестатистической, то её неопределенность оценивают по типу В

$$u_B = \frac{\delta x}{2\alpha} = \frac{a}{\alpha}, \quad (9)$$

где  $\delta x$  – ширина интервала, в пределах которого находятся возможные значения искомой величины;  $a$  – полуширина интервала;  $\alpha$  – коэффициент, значение которого определяется законом распределения вероятностей (результата) измерения.

Применив (9) к данным, приведенным в разделе «измерительная задача», получим неопределенности типа В в абсолютной и относительной формах.

Относительная погрешность измерения базы прозвучивания не должна превышать 0.5 %.

Стандартная неопределенность входных величин  $u_B(x_i)$  оцененных по типу В, в рассматриваемом нами случае, намного меньше неопределенности  $u_A(x_i)$  типа А, и поэтому, она не учитывается в определении суммарной неопределенности.

**Этап - бюджет неопределенности.** Для облегчения непосредственного расчета значения суммарной стандартной неопределенности выходной величины рекомендуется обобщение и наглядное представление всей полученной и проанализированной ранее информации о входных величинах в количественной форме в виде таблицы - бюджета неопределенности.

Бюджет неопределенности может также использоваться для анализа вкладов от каждого источника неопределенности в суммарную неопределенность с целью определения точности измерительного процесса, корректировки модели измерения или поиска способов уменьшения влияния некоторых источников неопределенности.

**Этап - расширенная неопределенность.** Расширенную неопределенность  $U$  получаем умножением суммарной стандартной неопределенности на коэффициент охвата  $k = 2$  в предположении нормального распределения при уровне доверия приблизительно 95 %:

$$U = k \cdot u_c(R) = 2 \cdot 0,80 = 1,6 \text{ МПа.}$$

**Этап - представление результата измерения.** Результат измерения представляют в виде: «прочность бетона составила  $(25,32 \pm 1,6)$  МПа, где число, следующее за знаком  $\pm$ , является численным значением расширенной неопределенности, которая получена умножением суммарной стандартной неопределенности на коэффициент охвата  $k = 2$ , основанный на предполагаемом нормальном распределении, и определяет интервал, соответствующий вероятности охвата приблизительно 95 %».

### **Заключение**

Оценена неопределенность (расширенная) ультразвукового метода определения прочности бетона (1,3 МПа). Установлено, что неопределенность ультразвукового метода определения прочности бетона типа В намного меньше неопределенности типа А. Средние значений прочности по результатам испытаний 25,1 МПа и скорости ультразвука 3396 м/с.

### **References**

1. O'z DSt ISO/IEC 17025: 2019 Obsch'ie trebovaniya k kompetentnosti ispy'tatel'ny'h i kalibrovchny'h laboratoriy [General requirements for the competence of testing and calibration laboratories], (ISO/IEC 17025:2017, IDT).
2. ISO/IEC 17025: 2017. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. ISO, Geneva, 2017.
3. Guide to the Expression of Uncertainty in measurement: First edition. ISO, Geneva, 1993.
4. Rukovodstvo po vy'rajeniyu neopredelennosti izmereniya [Guidance on identifying measurement uncertainty]. Perevod s angl. pod nauch. red. prof. V.A. Slaeva. GP VNIIM im. D.I. Mendeleeva, S.-Peterburg, 1999.
5. GOST 17624: 2012 Betony'. Ul'trazvukovoy metod opredeleniya prochnosti [Concrete. Ultrasonic strength determination method].
6. GOST 10180-2012 Betony'. Metody' opredeleniya prochnosti po kontrol'ny'm obrazcam [Concrete. Methods for determining accuracy from control samples].
7. GOST 18105-2010 Betony'. Pravila kontrolya i ocenki prochnosti [GOST 18105-2010 Betony'. Pravila kontrolya i ocenki prochnosti].
8. GOST 22690-88 Betony'. Opredelenie prochnosti mehanicheskimi metodami nerazrushayusch'ego kontrolya [Concrete. Determination of accuracy by mechanical methods of non-destructive testing].
9. GOST 28570-90 Betony'. Metody' opredeleniya prochnosti po obrazcam, otobranny'm iz konstrukciy [Betony'. Metody' opredeleniya prochnosti po obrazcam, otobranny'm iz konstrukciy].