

O'LGHASH MOSLAMASINING KALIBRLASH ANIQLIGINI OSHIRISH UCHUN ENG KICHIK KVADRATLAR USULINI QO'LLASH

To'xtasinov Davronbek Xoshimjon o'g'li

Namangan muhandislik texnologiya instituti , katta o'qituvchi

D_x_tuxtasinov@mail.ru

Annotatsiya : Har qanday o'lchash moslamasining o'lchov aniqligini oshirish uchun o'lchashdan oldin kalibrlash talab qilinadi, bu o'lchash moslamasining ko'rsatkichlari va, masalan, ma'lum bir materialning namligi o'rtasidagi korrelyatsiyani (analitik, grafik yoki jadval shaklida) o'rnatishdan iborat bo'ladi. Ushbu bosqich tavsiflangan usulda juda muhim hisoblanadi, chunki namlikni miqdoriy aniqlashning aniqligi kalibrlash jarayonining to'g'riligiga bog'liq. Kalibrlash bog'liqligini yaratish uchun har xil namlik tarkibiga ega bo'lgan ma'lum bir materialning namunalari to'plamiga ega bo'lish talab etiladi. Shu bilan birga, o'lchash uskunasi kalibrlangan namlik oralig'i oraliqlarga bo'linadi, ularning uzunligi tanlangan intervalga va o'rnatilgan sensorlar mavjud namunalar soniga bog'liq.

Kalit so'zlar: Namlik, o'lchov generatori, eng kichik kvadratlar usuli , polinom, Gauss usuli,

Применение метода наименьших квадратов для повышения точности калибровки датчика

Аннотация: Для повышения точности измерения любого измерительного прибора перед измерением требуется калибровка. Он заключается в установлении корреляции (аналитической, графической или табличной) между показаниями измерительного прибора и, например, влажностью того или иного материала. Этот шаг очень важен в описываемом методе, поскольку точность количественного определения влажности зависит от точности процесса калибровки. Для установления градуировочного соотношения необходимо иметь набор образцов данного материала с различной влажностью. При этом калиброванный интервал влажности измерительного оборудования разбивается на интервалы, длина которых зависит от выбранного интервала и количества проб с установленными датчиками.

Ключевые слова : Влажность, генератор измерений, метод наименьших квадратов, полином, метод Гаусса,

Applying Least Squares to Improve Sensor Calibration Accuracy

Abstract: To improve the measurement accuracy of any measuring instrument, calibration is required before measurement. It consists in establishing a correlation

(analytical, graphical or tabular) between the readings of a measuring device and, for example, the moisture content of a particular material. This step is very important in this method because the accuracy of the moisture quantification depends on the accuracy of the calibration process. To establish the calibration ratio, it is necessary to have a set of samples of this material with different humidity. In this case, the calibrated humidity interval of the measuring equipment is divided into intervals, the length of which depends on the selected interval and the number of samples with installed sensors.

Keywords : Humidity, Measurement Generator, Least Squares, Polynomial, Gaussian

Bu ishda ishlab chiqilgan o'lchov moslamasining kalibrlash bog'liqligini qurish uchun o'lchangan namuna sifatida namligi 0% dan 25% gacha bo'lgan paxta chigitidan turli vaqt oralig'ida 11 ta namuna tanlab oldik. Ushbu namunalar Toshkent yog'-moy kombinati va O'zbekiston "SIFAT" markazi laboratoriyasida tayyorlangan. Ushbu namunalar VHS-1 o'lchash moslamasi yordamida, shuningdek, arbitraj usuli bilan oldindan o'lchandi.

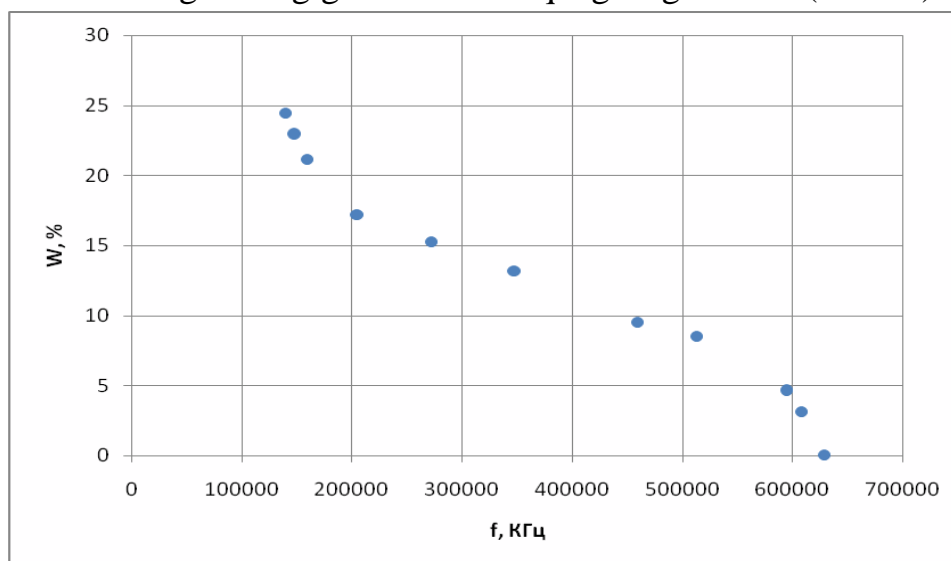
Tayyorlangan namunalar (namunalar) yordamida tavsiya etilgan sig'imli o'lchash moslamasi yordamida bir nechta o'lchovlar o'tkazildi va shunga mos ravishda har bir namuna uchun o'lchash generatorining chastotasining quyidagi qiymatlari olindi (1-jadval).

1-jadval.

Namlikning o'lchash transduserining chastotasiga bog'liqligi bo'yicha eksperimental ma'lumotlar

<i>i</i>	Namuna namligi (W_i), %	Generator chastotasini o'lchash (f_i), KHz
1	0	628959,3
2	3	608672,5
3	5	595148,0
4	8	513418,2
5	10	458931,7
6	13	346621,1
7	15	271747,3
8	18	203803,3
9	20	158515,7
10	23	146971,1
11	25	139274,7

1-jadvaldagi ma'lumotlardan foydalanib, o'lchov generatorining chastotasining o'lchangan namunaning namligiga nisbatan nuqta grafigi tuzildi (1-rasm).



1-rasm. Xom ma'lumotlarning nuqta grafigi.

O'lchov va hisob-kitoblar natijasida paxta xom ashyosi chigitining namligining bir qator asboblar ko'rsatkichlariga (o'rnatilgan qiymatlar) mos keladigan bir qator qiymatlari olindi. Namlik namunalari va asboblar ko'rsatkichlarining mos keladigan juftliklariga ko'ra, "asbob ko'rsatkichlari - paxta chigitining namligi" kalibrlash bog'liqligini qurish mumkin.

[1.2] mualliflarining fikriga ko'ra, eng kichik kvadratlar usuli turli parametrlarga bog'liqlik grafiklarini kalibrlashning eng samarali va oddiy usuli hisoblanadi. Shuning uchun kalibrlash bog'liqligini (regressiya egri chizig'ini) qurish uchun biz eng kichik kvadratlar usulidan foydalanamiz. Shunday qilib, eng kichik kvadratlar usuliga ko'ra, biz $W = k(f)$ kalibrlash bog'liqligi funksiyasini polinom sifatida tasvirlaymiz:

$$W = A_0 + A_1f + A_2f^2 + A_3f^3 + A_3f^3 + A_4f^4 + A_5f^5 + A_6f^6 + A_7f^7; \quad (1)$$

Haqiqiy o'lchangan qiymat va kalibrlash qiymatlari o'rtasidagi S_m farqi uchun formula tuzamiz:

$$S_m = \sum_{i=1}^{11} [W(f_i) - W_i]^2 = \sum_{i=1}^{11} [(A_0 + A_1f_i + A_2f_i^2 + A_3f_i^3 + A_4f_i^4 + A_5f_i^5 + A_6f_i^6 + A_7f_i^7) - W_i]^2; \quad (2)$$

Hosilalarni hisoblash va to'g'ri qismlarni nolga tenglashtirib, biz hosilalar uchun tenglamalar tizimining matritsasini qurdik:

$$\begin{cases} \frac{\partial S_m}{\partial A_0} = 2 \sum_{i=1}^{11} [(A_0 + A_1 f_i + A_2 f_i^2 + \dots + A_7 f_i^7) - W_i] = 0, \\ \frac{\partial S_m}{\partial A_1} = 2 \sum_{i=1}^{11} [(A_0 + A_1 f_i + A_2 f_i^2 + \dots + A_7 f_i^7) - W_i] f_i = 0, \\ \frac{\partial S_m}{\partial A_2} = 2 \sum_{i=1}^{11} [(A_0 + A_1 f_i + A_2 f_i^2 + \dots + A_7 f_i^7) - W_i] f_i^2 = 0, \\ \vdots \\ \frac{\partial S_m}{\partial A_7} = 2 \sum_{i=1}^{11} [(A_0 + A_1 f_i + A_2 f_i^2 + \dots + A_7 f_i^7) - W_i] f_i^7 = 0. \end{cases} \quad (3)$$

[2.3] ga ko'ra, ba'zi o'zgarishlardan so'ng biz quyidagi tenglamalar tizimini olamiz:

$$\begin{cases} 5A_0 + A_1 \sum_{i=1}^{11} f_i + A_2 \sum_{i=1}^{11} f_i^2 + \dots + A_7 \sum_{i=1}^{11} f_i^7 = \sum_{i=1}^{11} W_i, \\ A_0 \sum_{i=1}^{11} f_i + A_1 \sum_{i=1}^{11} f_i^2 + A_2 \sum_{i=1}^{11} f_i^3 + \dots + A_7 \sum_{i=1}^{11} f_i^8 = \sum_{i=1}^{11} f_i W_i, \\ A_0 \sum_{i=1}^{11} f_i^2 + A_1 \sum_{i=1}^{11} f_i^3 + A_2 \sum_{i=1}^{11} f_i^4 + \dots + A_7 \sum_{i=1}^{11} f_i^9 = \sum_{i=1}^{11} f_i^2 W_i, \\ \vdots \\ A_0 \sum_{i=1}^{11} f_i^7 + A_1 \sum_{i=1}^{11} f_i^8 + A_2 \sum_{i=1}^{11} f_i^9 + \dots + A_7 \sum_{i=1}^{11} f_i^{14} = \sum_{i=1}^{11} f_i^7 W_i. \end{cases} \quad (4)$$

Hisoblash natijalari 2-jadvalga kiritiladi.

2-jadval.

<i>i</i>	<i>W_i</i>	<i>f_i</i>	<i>f_i²</i>	<i>f_i³</i>	...	<i>f_i¹⁴</i>
1	0	628959,3	3,95·10 ¹¹	2,48·10 ¹⁷	...	1,51·10 ⁸¹
2	3	608672,5	3,7·10 ¹¹	2,25·10 ¹⁷	...	9,58·10 ⁸⁰
3	5	595148,0	3,54·10 ¹¹	2,11·10 ¹⁷	...	6,99·10 ⁸⁰
4	8	513418,2	2,63·10 ¹¹	1,35·10 ¹⁷	...	8,84·10 ⁷⁹
5	10	458931,7	2,10·10 ¹¹	9,66·10 ¹⁶	...	1,83·10 ⁷⁹
6	13	346621,1	1,20·10 ¹¹	4,16·10 ¹⁶	...	3,61·10 ⁷⁷
7	15	271747,3	7,38·10 ¹⁰	2,01·10 ¹⁶	...	1,19·10 ⁷⁶
8	18	203803,3	4,15·10 ¹⁰	8,46·10 ¹⁵	...	2,13·10 ⁷⁴
9	20	158515,7	2,51·10 ¹⁰	3,98·10 ¹⁵	...	6,32·10 ⁷²
10	23	146971,1	2,16·10 ¹⁰	3,17·10 ¹⁵	...	2,19·10 ⁷²
11	25	139274,7	1,93·10 ¹⁰	2,70·10 ¹⁵	...	1,03·10 ⁷²
Σ	140	4080363,0	1,89·10 ¹²	9,97·10 ¹⁷	...	3,28·10 ⁸¹

3-jadval.

Tenglamalar sistemasini hisoblash natijalari

<i>i</i>	<i>f_iW_i</i>	<i>f_i²W_i</i>	<i>f_i³W_i</i>	...	<i>f_i⁷W_i</i>	<i>W(f_i)</i>
----------	-----------------------------------	---	---	-----	---	-------------------------

1	0	0	0	...	0	0,050254
2	1826017,5	$1,11 \cdot 10^{12}$	$6,76 \cdot 10^{17}$	...	$9,28 \cdot 10^{40}$	3,139474
3	2975740,0	$1,77 \cdot 10^{12}$	$1,05 \cdot 10^{18}$	...	$1,32 \cdot 10^{41}$	4,661703
4	4107345,6	$2,11 \cdot 10^{12}$	$1,08 \cdot 10^{18}$	...	$7,52 \cdot 10^{40}$	8,497527
5	4589317,0	$2,10 \cdot 10^{12}$	$9,66 \cdot 10^{18}$	...	$4,28 \cdot 10^{40}$	9,505292
6	4506074,3	$1,56 \cdot 10^{12}$	$5,41 \cdot 10^{17}$	...	$7,81 \cdot 10^{39}$	13,16293
7	4076209,5	$1,11 \cdot 10^{11}$	$3,01 \cdot 10^{17}$	...	$1,64 \cdot 10^{39}$	15,25177
8	3668459,4	$7,47 \cdot 10^{11}$	$1,52 \cdot 10^{17}$	...	$2,62 \cdot 10^{38}$	17,17791
9	3170314,0	$5,02 \cdot 10^{11}$	$7,96 \cdot 10^{16}$	...	$5,02 \cdot 10^{37}$	20,09961
10	3380335,3	$4,96 \cdot 10^{11}$	$7,30 \cdot 10^{16}$	...	$3,40 \cdot 10^{37}$	22,96847
11	3481867,5	$4,84 \cdot 10^{11}$	$6,75 \cdot 10^{17}$	...	$2,54 \cdot 10^{37}$	24,42640
Σ	35781680,0	$1,19 \cdot 10^{13}$	$4,99 \cdot 10^{18}$	...	$3,53 \cdot 10^{41}$	138,9413

Tuzilgan tenglamalar tizimi va hisoblangan hisoblangan ma'lumotlar (2-jadval va 3-jadval) yordamida biz koeffitsientlarni topamiz: $A_0, A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7$

Bunda $A_0, A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7$ ga nisbatan tenglamalar tizimi quyidagi shaklni oladi:

$$\begin{cases} 5A_0 + 2,36 \cdot 10^6 A_1 + 1,19 \cdot 10^{12} A_2 + \dots + 1,02 \cdot 10^{29} A_7 = 7, \\ 2,36 \cdot 10^6 A_0 + 1,19 \cdot 10^{12} A_1 + 6,85 \cdot 10^{17} A_2 + \dots + 6,57 \cdot 10^{46} A_7 = 1,88 \cdot 10^7, \\ 1,19 \cdot 10^{12} A_0 + 6,85 \cdot 10^{17} A_1 + 4,13 \cdot 10^{23} A_2 \dots + 4,23 \cdot 10^{52} A_7 = 6,49 \cdot 10^{12}, \\ \vdots \\ 1,02 \cdot 10^{41} A_0 + 6,57 \cdot 10^{46} A_1 + 4,23 \cdot 10^{52} A_2 + \dots + 5,01 \cdot 10^{81} A_7 = 2,38 \cdot 10^{41}. \end{cases} \quad (5)$$

Olingan tenglamalar tizimi (5.40) tizimning kengaytirilgan matritsasiga muvofiq Gauss usuli [1, 4] bilan yechiladi:

$$\left| \begin{array}{cccccc} 10 & 4,07 \cdot 10^6 & 1,90 \cdot 10^{12} & \dots & 1,11 \cdot 10^{41} & 140 \\ 4,07 \cdot 10^6 & 1,90 \cdot 10^{12} & 9,97 \cdot 10^{17} & \dots & 6,61 \cdot 10^{41} & 3,58 \cdot 10^7 \\ 1,90 \cdot 10^{12} & 9,97 \cdot 10^{17} & 5,56 \cdot 10^{23} & \dots & 3,97 \cdot 10^{52} & 1,20 \cdot 10^{13} \\ & & \vdots & & & \\ 1,87 \cdot 10^{35} & 1,11 \cdot 10^{41} & 6,61 \cdot 10^{46} & \dots & 5,37 \cdot 10^{75} & 6,45 \cdot 10^{35} \\ 1,11 \cdot 10^{41} & 6,61 \cdot 10^{46} & 3,97 \cdot 10^{52} & \dots & 3,28 \cdot 10^{81} & 3,53 \cdot 10^{41} \end{array} \right|. \quad (6)$$

Kengaytirilgan matritsaning soddalashtirilgan shaklini olamiz

$$\begin{vmatrix} 1 & 370185,75 & 1,72 \cdot 10^{11} & \dots & 1,01 \cdot 10^{40} & 12,72 \\ 0 & 1 & 759469,7 & \dots & 6,45 \cdot 10^{34} & -4,1 \cdot 10^{-5} \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 3,03 \cdot 10^{29} & 1,02 \cdot 10^{-11} \\ & & \vdots & & & \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 2023320,65 & -1,06 \cdot 10^{-32} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 4,03 \cdot 10^{-38} \end{vmatrix} \quad (7)$$

[1, 4] ga asosan (5.39) tenglamalar tizimini Gauss usuli yordamida yechishda $A_0=117,9964$, $A_1=-1,3 \cdot 10^{-3}$, $A_2=6,4817 \cdot 10^{-9}$, $A_3=-1,0232 \cdot 10^{-14}$, $A_4=-1,6287 \cdot 10^{-20}$, $A_5=7,8447 \cdot 10^{-26}$, $A_6=-9,7335 \cdot 10^{-32}$, $A_7=4,0332 \cdot 10^{-38}$.koeffitsientlarni topamiz,

Agar topilgan koeffitsientlarni o'rniga qo'ysak, kalibrlash bog'liqligi $W = k(f)$ tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

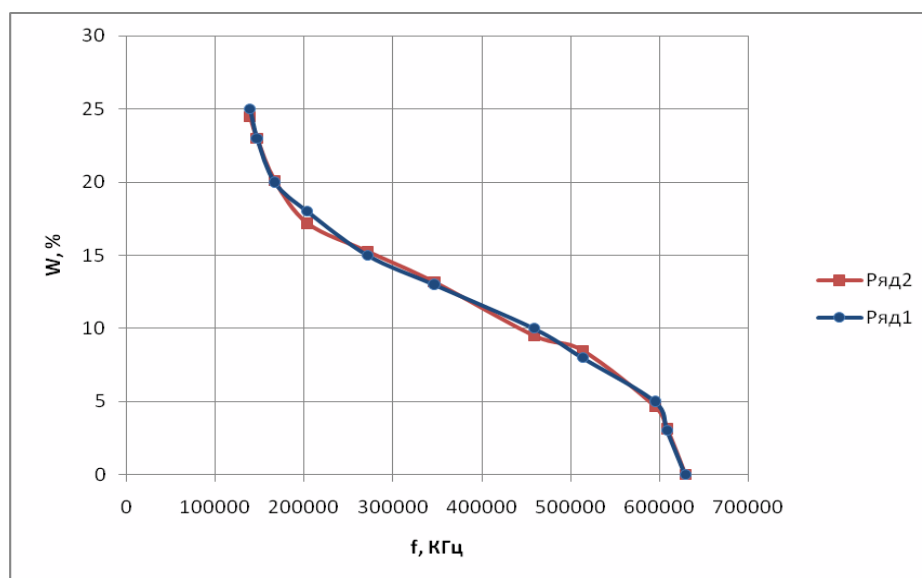
$$W = 117,9964 - 1,3 \cdot 10^{-3} f + 6,4817 \cdot 10^{-9} f^2 - 1,0232 \cdot 10^{-14} f^3 - 1,6287 \cdot 10^{-20} f^4 + 7,8447 \cdot 10^{-26} f^5 - 9,7335 \cdot 10^{-32} f^6 + 4,0332 \cdot 10^{-38} f^7. \quad (8)$$

(8) ifoda paxta chigitining namligining chastotaga kalibrlash bog'liqligining matematik modelidir.

$A_0, A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7$ koeffitsientlarining hisoblangan qiymatlaridan ko'rinib turibdiki, A_3 va undan yuqoriroq qiymatlar koeffitsientlari ahamiyatsiz qiymatlarga ega va shuning uchun ular bo'lishi mumkin. e'tibordan chetda qolgan. Yuqoridagilarni hisobga olgan holda o'lchash moslamasining kalibrlash bog'liqligining matematik modelini quyidagi shaklda yozish mumkin:

$$W = 117,9964 - 1,3 \cdot 10^{-3} f + 6,4817 \cdot 10^{-9} f^2. \quad (9)$$

Tuzilgan kalibrlash tenglamasini (5.43) inobatga olgan holda tuzilgan o'lchov o'tkazgich chastotasiga paxta xomashyosining namlik bog'liqligi grafigi 5.4-rasmda keltirilgan.



2-rasm. Tuzatish koeffitsientlari (1-qator) va ularsiz (2-qator) bilan kalibrlash tenglamasining grafigi.

Grafiklardan ko'rinib turibdiki, namlikning chastotaga bog'liqligi (2-rasm, 1-qator) kalibrlash koeffitsientlarini hisobga olgan holda qurilgan 2-rasmda (2-qator) ko'rsatilgan grafikdan ancha yaxshi.

Shunday qilib, paxta chigitining namligining o'lchov o'tkazgich chastotasiga bog'liqligi grafigini kalibrlashda eng kichik kvadratlar usulidan foydalanish o'lchash moslamasini kalibrlashning aniqligini oshirish imkonini berdi.

Foydalanilgan adabiyotlar .

1. Мустафина Д.А., Буракова А.Е., Мустафин А.И., Александрова А.С. Обобщенная многомерная интерполяция методом наименьших квадратов // Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2018. №27. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obobschennaya-mnogomernaya-interpolyatsiya-metodom-naimenshih-kvadratov> (дата обращения: 17.12.2022).
2. Джураев Шерзод Собиржонович, Мамаханов Аъзам Абдумажидович, Шарипбаев Носир Юсубжанович, Тухтасинов Даврон Хошимжон Угли, Тулкинов Мухамадали Эркинжон Угли Логическое реле Owen для автоматизированной системы управления // Universum: технические науки. 2020. №8-1 (77). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/logicheskoe-rele-owen-dlya-avtomatizirovannoy-sis>
3. Мамаханов Аъзам Абдумажидович, Джураев Шерзод Собиржонович, Шарипбаев Носир Юсубжанович, Тулкинов Мухамадали Эркинжон Угли, Тухтасинов Даврон Хошимжон Угли Устройство для выращивания гидропонного корма с автоматизированной системой управления // Universum: технические науки. 2020. №8-2 (77). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ustroystvo-dlya-vyraschivaniya-gidroponnogo-korma-s-avtomatizirovannoy-sistemoy-upravleniya> (дата обращения: 17.12.2022).temu-upravleniya (дата обращения: 17.12.2022).
4. Рузиматов, С., & Тухтасинов, Д. (2021). Выбор цифровых устройств для регулирования содержания влаги хлопка-сырца. *Central Asian Journal of Theoretical and Applied Science*, 2(9), 10-14. Retrieved from <https://cajotas.centralasianstudies.org/index.php/CAJOTAS/article/view/226>