

Розробка родовищ корисних копалин

УДК 621.914

В.Г. Панчук, д.т.н., доц.
В.О. Мельник, аспір.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу (ІФНТУНГ)

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНІЧНОГО ПЛАСТОМІРУ

Наведено розрахункові та експериментальні метрологічні характеристики розробленого і виготовленого в ІФНТУНГ пластоміру, що призначений для визначення реологічних характеристик глинистих сумішей, що використовуються у виробництві керамічної цегли, на основі контролю кінетики заглиблення індентора в досліджуване середовище глина–вода. Достовірність наведених характеристик підтверджується результатами статистичних досліджень.

Ключові слова: пластомір, метрологічні характеристики, статистичні дослідження.

Вступ. Постановка проблеми. Для визначення структурно-механічних властивостей висококонцентрованих глинистих паст пропонується ряд методів, найбільш розповсюдженими серед яких є метод конічного пластоміру. Зазначається [1], що при роботі з глинами застосування конічного пластоміру має ряд переваг, порівняно з іншими методами.

Метод конічного пластоміру полягає у вимірюванні кінетики занурення конуса в досліджуване середовище під дією постійного навантаження. Реалізація методу здійснюється за допомогою спеціальних пристроїв — конічних пластомірів [3, 5, 6].

Конструкції пластомірів, які на даний час практично використовуються, дозволяють за глибиною занурення індентора в досліджуване середовище глина–вода під дією постійного навантаження визначити значення граничного напруження зсуву глинистої суміші. Вимірювання лінійного переміщення індентора виконується після досягнення ним стану рівноваги за допомогою універсальних вимірювальних пристроїв – індикаторів годинникового типу [3, 5]. В більш сучасних конструкціях використовуються цифрові індикаторні головки [6]. Але для моделювання процесів формування керамічних виробів необхідно знати інші реологічні параметри висококонцентрованих глинистих паст, які можуть бути отримані в результаті дослідження кінетики занурення конуса в досліджуване середовище. Для цього в процесі вдавлювання індентора потрібно контролювати глибину його занурення залежно від часу.

У Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу (Україна) для виконання вказаних вище досліджень була розроблена і виготовлена вимірювальна система для дослідження реологічних властивостей глинистих мас на основі конічного пластоміру (рис. 1). Вимірювальна частина пластоміру, яка побудована на базі новітніх мікропроцесорних пристроїв з використанням сучасних цифрових та інформаційних технологій, забезпечує одержання і зберігання часових залежностей глибини проникнення конуса в глинисте середовище в процесі його вдавлювання під дією постійного навантаження.

Мета даної роботи полягає у визначенні дійсних метрологічних характеристик вимірювальної системи для оцінки технічного рівня і якості засобу вимірювання та визначення достовірності вимірювань.

Викладення основного матеріалу. Як первинний перетворювач використовується оптичний давач кутового положення інкрементального типу (квадратурний енкодер), який за один оберт генерує послідовність із 2500 імпульсів. На його валу закріплено гумове колесо діаметром 30 мм, яке притискається за рахунок власної ваги до прямої конуса. За рахунок цього лінійне переміщення конуса перетворюється в кутове переміщення вала енкодера. Контрольно-вимірювальний пристрій являє собою мікропроцесорну систему побудовану на базі 16-розрядного контролера цифрових сигналів моделі dsPIC30F4012 виробництва компанії Microchip Technology Incorporated [7]. В конструкції контролера передбачено спеціальний модуль (Quadrature Encoder Interface (QEI) Module) для підключення квадратурного енкодера.

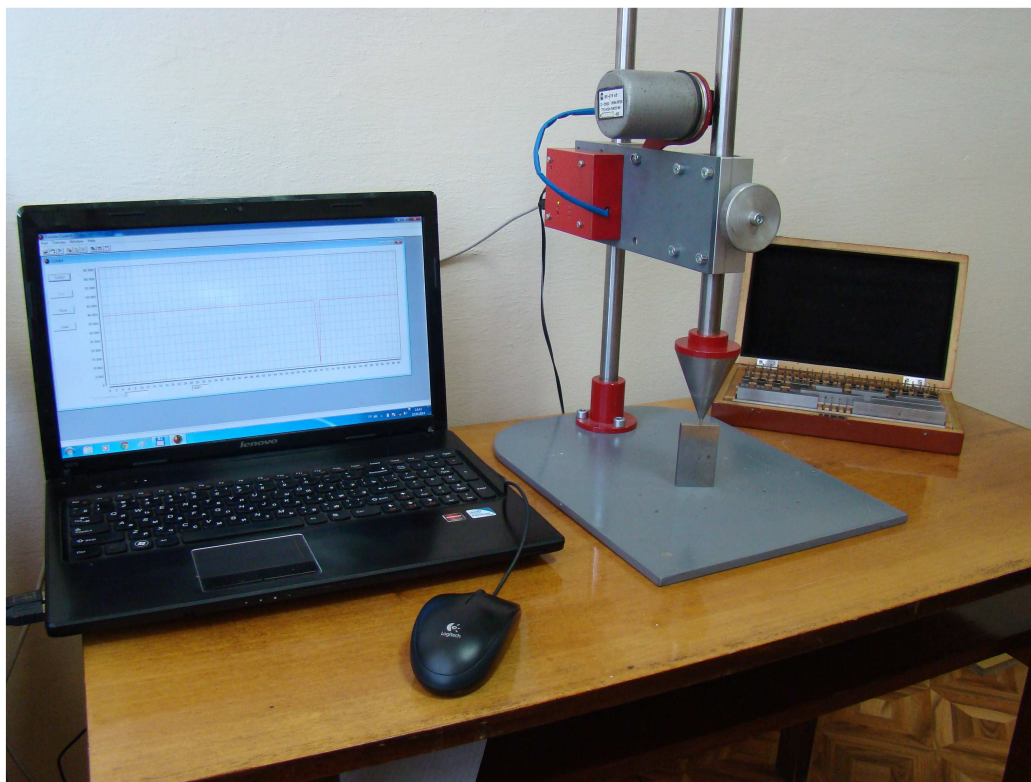


Рис. 1. Загальний вигляд інформаційно-вимірювальної системи

Для оцінки технічного рівня і якості розробленої вимірювально-інформаційної системи необхідно визначити її метрологічні характеристики. Метрологічними характеристиками називаються технічні характеристики вимірювальних приладів, що визначають властивості цих приладів і мають вплив на результати та похибки вимірювань. Метрологічними показниками і характеристиками вимірювальних приладів і установок є [4]: діапазон показів, діапазон вимірювань, ціна поділки шкали, довжина поділки шкали, чутливість і варіація та ін.

Діапазон показів — область значень шкали обмежена початковим і кінцевим значеннями шкали.

Поточне значення кутового переміщення енкодера розміщене в 16-розрядному реверсивному лічильнику модуля QE1 контролера dsPIC30F4012. 16 двійкових розрядів без додаткових заходів контролю переповнення лічильника забезпечують діапазон показів в межах $0 \div 65535$.

Діапазон вимірювань – область значень вимірюваної величини з нормованими допустимими похибками засобу вимірювань.

Якщо діаметр притискного колеса на валу енкодера рівний 30 мм, розділова здатність енкодера складає 2500 імпульсів за оберт і модуль енкодера налаштовано на режим $\times 4$, який підвищує розділову здатність системи в чотири рази, то діапазон вимірювань лінійного переміщення конуса становить від 0 до $65535 \cdot \pi \cdot 30 / (2500 \cdot 4) \approx 617$ мм.

Ціна поділки шкали – різниця значень величини, що відповідають двом сусіднім позначкам шкали.

Розроблена вимірювальна система належить до класу цифрових систем, тому ціна поділки визначається як значення лінійного переміщення конуса, що припадає на один імпульс енкодера $\pi \cdot 30 / (2500 \cdot 4) \approx 0,009425$ мм.

Чутливість вимірювального приладу – відношення зміни сигналу на виході вимірювального приладу до зміни вимірюваної величини, яка його викликає.

Для даної цифрової системи чутливість приладу фактично є оберненою величиною до ціни поділки і рівна 106.

Варіація показань вимірювального приладу – різниця показань приладу в одній і тій же точці діапазону вимірювань при плавному підході "праворуч" і підході "зліва" до цієї точки. Варіація показань являє собою алгебраїчну різницю найбільшого і найменшого результатів при багаторазовому вимірі однієї і тієї ж величини в незмінних умовах. Варіація характеризує нестабільність показів вимірювального приладу.

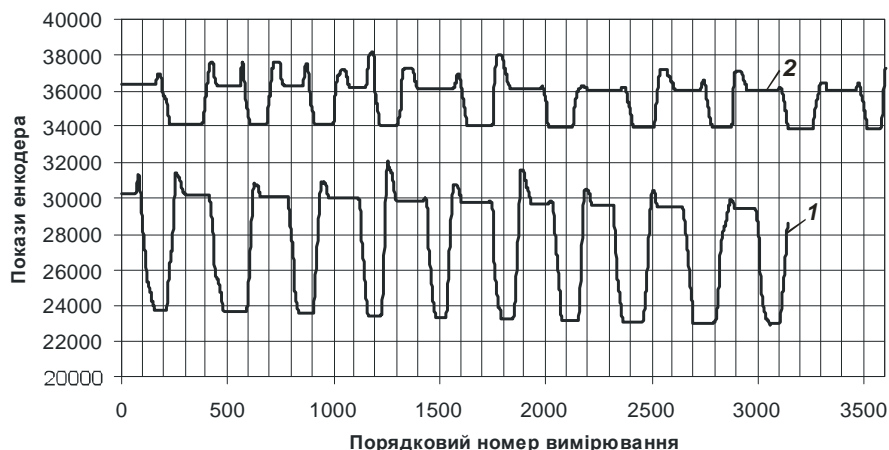


Рис. 2. Графіки часових залежностей серії вимірювань
1 — кінцева міра 60 мм; 2 — кінцева міра 20 мм

Для оцінки даного показника проведено дві серії вимірювань за допомогою кінцевих мір 20 мм і 60 мм. Виконано по десять вимірювань вертикальної координати конуса при контакті почергово з базовою поверхнею, на якій встановлюється кінцева міра, і верхньою площиною кінцевої міри. Вимірювання проводились на частоті опитування 50 Гц і їх перебіг у вигляді часових залежностей представлено на рисунку 2. Прямі горизонтальні ділянки на кожному графіку відповідають показам енкодера у двох контрольованих крайніх положеннях конуса на кожній з кінцевих мір. З кожної такої ділянки покази зведені в окремі графіки на рисунку 3, які відтворюють послідовність проведення замірів. Числові значення приведено в таблиці 1.

На підставі детального аналізу результатів вимірювань можна зробити наступні висновки:

- покази серії періодичних вимірювань мають стійкий дрейф, який, найбільш імовірно, зумовлений проковзуванням між гумовим колесом і направляючою конуса. Величина проковзування залежить від напрямку переміщення;
- величина помилки внаслідок проковзування накопичується в серії періодичних вимірювань, тому пристрій даної конструкції доцільно використовувати лише для вимірювання відносних переміщень;
- варіація показів залежить від величини вимірюваного переміщення конуса;
- відносний показник кількості імпульсів енкодера на один міліметр переміщення конуса має відносно стабільне значення в кожній серії вимірювань і його похибка знаходиться в межах ± 1 імпульс/мм. Взагалі в даному експерименті цей параметр складає 107 ± 2 імпульс/мм.

Для оцінки достовірності проведених вимірювань виконаємо статистичний аналіз результатів експерименту [2]. За досліджувані параметри обрано окремо величини лінійного переміщення вверх і вниз вимірюваного в імпульсах енкодера і, відповідно, значення кількості імпульсів на один міліметр переміщення. Таким чином, всі результати об'єднані в два експерименти по чотири досліди, в кожному з яких здійснено по 10 вимірювань на кінцевих мірах 60 мм і 20 мм (табл. 1 і 2).

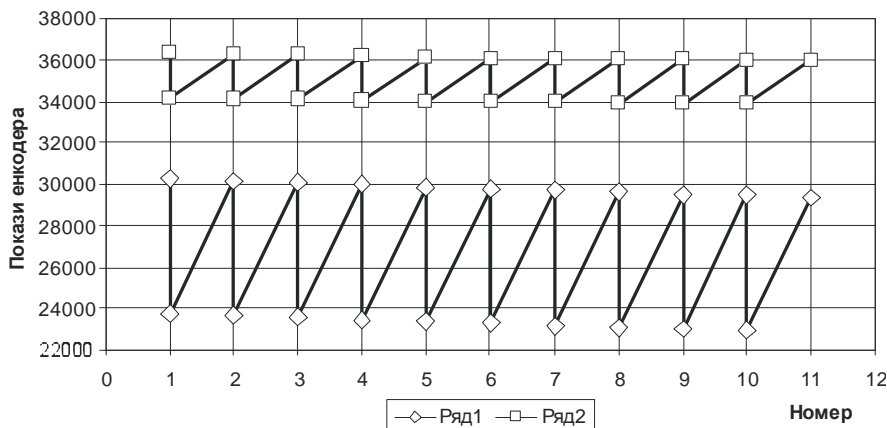


Рис. 3. Покази серії вимірювань кінцевих мір
Ряд 1 — кінцева міра 60 мм; Ряд 2 — кінцева міра 20 мм

1. Визначаємо середнє значення вибірки j -го дослідю:

$$\bar{y}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{ij} = \frac{1}{20} \sum_{i=1}^{20} y_{ij} ,$$

де y_{ij} — експериментальні значення отримані в j -му дослідю експерименту; $n = 20$ — кількість елементів однієї вибірки.

2. Визначаємо емпіричну дисперсію окремого вимірювання для вибірки j -го дослідю плану:

$$s_j^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_j)^2 = \frac{1}{19} \sum_{i=1}^{20} (y_{ij} - \bar{y}_j)^2 .$$

3. Стандартне відхилення окремого вимірювання j -ої вибірки:

$$s_j = \sqrt{s_j^2} .$$

4. Визначаємо емпіричну дисперсію середнього значення для вибірки j -го дослідю плану:

$$s_{\bar{y}_j}^2 = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_j)^2 = \frac{1}{20 \cdot 19} \sum_{i=1}^{20} (y_{ij} - \bar{y}_j)^2 .$$

5. Стандартне відхилення середнього значення j -ої вибірки:

$$s_{\bar{y}_j} = \sqrt{s_{\bar{y}_j}^2} .$$

6. Перевіряємо дані за критерієм грубих помилок спостережень для j -го дослідю:

$$v_{\max} > \frac{y_{j\max} - \bar{y}_j}{s_j} , \quad v_{\max} > \frac{\bar{y}_j - y_{j\min}}{s_j} .$$

Для рівня значущості $\alpha = 0,95$ і розміру вибірки $n = 10$ критерій $v_{\max} = 2,29$.

7. Визначаємо довірчий інтервал, або точність, істинного значення y_j :

$$y_j = \bar{y}_j \pm t_{\alpha, n-1} \cdot s_{\bar{y}_j} ,$$

де $t_{\alpha, n-1}$ — критерій Стюдента для рівня значущості $\alpha = 0,95$ при розмірі вибірки $n = 10$ ($t_{\alpha, n-1} = 2,26$).

8. Визначаємо відносну похибку j -го дослідю:

$$\varepsilon_j = \pm \frac{\Delta \bar{y}_j}{\bar{y}_j} \cdot 100\% .$$

9. Перевірка експериментальних даних за критерієм однорідності дисперсій Кохрена:

$$G = \frac{s_{j\max}^2}{\sum_{i=1}^m s_j^2} ,$$

де $s_{j\max}^2$ — максимальне значення дисперсії вибірки в експерименті; m — кількість дослідів в експерименті.

Гіпотеза про однорідність дисперсій приймається за умови $G < G_{кр}(\alpha; n, m)$, де для нашого випадку $G_{кр}(\alpha; n, m) = 0,8010$.

10. Так як гіпотеза про однорідність дисперсій підтверджується, то визначаємо похибку експерименту за формулою:

$$s_y = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m s_j^2} .$$

Таблиця 1

Результати вимірювань

Номер заміру	Кінцева міра 60 мм					Кінцева міра 20 мм				
	положення	переміщення				положення	переміщення			
		вниз		вверх			вниз		вверх	
		імп.	імп./мм	імп.	імп./мм		імп.	імп./мм	імп.	імп./мм
1	30281					36336				
2	23734	6547	109,1			34199	2137	106,9		
3	30178			-6444	107,4	36286			-2087	104,4
4	23647	6531	108,9			34141	2145	107,3		
5	30088			-6441	107,4	36236			-2095	104,8
6	23556	6532	108,9			34093	2143	107,2		
7	30003			-6447	107,5	36193			-2100	105,0
8	23468	6535	108,9			34044	2149	107,5		
9	29885			-6417	107,0	36137			-2093	104,7
10	23356	6529	108,8			34000	2137	106,9		
11	29802			-6446	107,4	36089			-2089	104,5
12	23276	6526	108,8			33961	2128	106,4		
13	29700			-6424	107,1	36077			-2116	105,8
14	23182	6518	108,6			33952	2125	106,3		
15	29616			-6434	107,2	36054			-2102	105,1
16	23090	6526	108,8			33920	2134	106,7		
17	29530			-6440	107,3	36023			-2103	105,2
18	23017	6513	108,6			33900	2123	106,2		
19	29464			-6447	107,5	36012			-2112	105,6
20	22952	6512	108,5			33885	2127	106,4		
21	29387			-6435	107,3	35972			-2087	104,4
Середнє значення		6527	108,8	-6438	107,3		2135	106,7	-2098	104,9
Ціна поділки, мкм		9,19	9,17	9,32	9,35		9,37	9,35	9,54	9,52
Варіація показів	імп.	35		30			26		29	
	мм	0,322		0,276			0,2392		0,2668	

Таблиця 2

Статистичний аналіз експериментальних даних

	\bar{y}_j , імп.	s_j^2 , імп.²	s_j , імп.	$s_{y_j}^2$, імп.²	s_{y_j} , імп.	ν	$\Delta\bar{y}_j$, імп.	ϵ_j , %	G	s_y , імп.
Переміщення, імп.	6527	113	10,6	11,3	3,4	1,89	±7,68	0,12	0,2825	10,0
	2135	81	9,0	8,1	2,8	1,56	±6,33	0,30		
	6438	104	10,2	10,4	3,2	2,06	±7,23	0,11		
	2098	102	10,1	10,2	3,2	1,78	±7,23	0,34		
	\bar{y}_j , імп./мм	s_j^2 , (імп./мм)²	s_j , імп.	$s_{y_j}^2$, (імп./мм)²	s_{y_j} , імп./мм	ν	$\Delta\bar{y}_j$, імп./мм	ϵ_j , %	G	s_y , імп./мм
Шкала, імп./мм	108,8	0,031	0,177	0,0031	0,0559	1,89	±0,126	0,116	0,49421	0,4
	107,3	0,029	0,170	0,0029	0,0537	2,01	±0,121	0,113		
	106,7	0,202	0,449	0,0202	0,1420	1,58	±0,321	0,301		
	104,9	0,256	0,506	0,0256	0,1599	1,74	±0,361	0,344		

Усі результати розрахунків наведено в таблиці 2.

Висновки. За результатами статистичних досліджень встановлено, що прилад має різну відносну похибку вимірювання в залежності від напрямку переміщення, але ця величина не виходить за межі статистичної помилки. Показано досить високу стабільність вимірювань в межах до 0,34 % відносної похибки. Таким чином запропонована конструкція пластоміру може бути використана в наукових дослідженнях для визначення реологічних параметрів глинистих сумішей. В подальшому можливі удосконалення конструкції для забезпечення однакових показників точності незалежно від напрямку переміщень.

Список використаної літератури:

1. *Городнов В.Д.* Физико-химические методы предупреждения осложнений в бурении / *В.Д. Городнов.* – М. : Недра, 1977. – 280 с.
2. *Кассандрова О.Н.* Обработка результатов наблюдений / *О.Н. Кассандрова, В.В. Лебедев.* – М. : Наука, 1970. – 104 с.
3. Определение пластической прочности растворных и бетонных смесей / *Е.В. Кондращенко, В.И. Кондращенко, В.Д. Кудрявцева та ін.* // Вісник Національного технічного ун-ту “Харківський політехнічний інститут” / Серія : Хімія, хімічна технологія та екологія. – 2012. – № 32. – С. 54–61.
4. *Колчков В.И.* Метрология, стандартизация и сертификация / *В.И. Колчков.* – М. : Гуманитар. изд. центр ВЛАДОС, 2010. – 398 с.
5. Пат. 2094769 Российская Федерация, МПК⁶ G 01 N 11/10. Пластометр / *Давыдов В.Н.* ; заяв. и патентообладатель *Давыдов В.И.* – № 94033257/25; заявл. 12.09.94; опубл. 27.10.97.
6. Test International. Product catalogue. Issue 1 : каталог продукції // Test International. – 2014. – Вип. 1. – С. 86 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://testinternational.co.uk/wp-content/catalogue/index.html>.
7. dsPIC30F4011/4012 Data Sheet / Специфікація IC dsPIC30F4011/4012 // Microchip Technology Inc. – 2005. – 228 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу :<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/70135C.pdf>.

ПАНЧУК Віталій Георгійович – доктор технічних наук, завідувач кафедри комп’ютеризованого машинобудівного виробництва Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Наукові інтереси:

- технологія машинобудування, дослідження процесів різання, проектування верстатів та інструментів;
- автоматизація наукових досліджень і виробничих процесів;
- розробка систем числового програмного керування.

МЕЛЬНИК Віктор Олексійович — аспірант кафедри комп’ютеризованого машинобудівного виробництва Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Наукові інтереси:

- технологія машинобудування.

Стаття надійшла до редакції 08.04.2014