

ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ОПРАЦЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ РЕОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НЕНЬЮТОНІВСЬКИХ РІДИН

Выполнен анализ методов обработки выходных сигналов гидродинамической измерительной системы реологических параметров неньютоновских жидкостей. Для определения реологической модели и ее параметров разработан программный комплекс, который состоит из программных модулей.

Виконаний аналіз методів опрацювання вихідних сигналів гідродинамічної вимірювальної системи реологічних параметрів неньютонівських рідин. Для встановлення реологічної моделі та її реологічних параметрів розроблений програмний комплекс, який складається з програмних модулів.

The analysis of signal processing methods for the hydrodynamic measuring system of rheological parameters of Non-Newtonian fluids is proposed. For determination of rheological model and its rheological parameters a computer program is developed based on program modules.

Вступ. В'язкісні характеристики рідин є вирішальними показниками ефективності в багатьох технологічних процесів. Для їх вимірювання розроблено ряд різних методів. Найбільш теоретично обґрунтованими є ротаційні та капілярні віскозиметри [1]. Базові засади побудови капілярних віскозиметрів стали основою для розробки гідродинамічних вимірювальних пристроїв, область застосування яких поширилась на вимірювання реологічних параметрів неньютонівських рідин: розчинів полімерів, бурових розчинів, харчових матеріалів тощо [2,3].

Важливою задачею автоматизованого контролю реологічних параметрів за допомогою гідродинамічних вимірювальних пристроїв є вдосконалення методики опрацювання вихідних сигналів. Для вирішення цієї задачі необхідно проаналізувати способи визначення реологічних параметрів за експериментальними даними та вибрати найбільш прийнятну для гідродинамічної вимірювальної системи методику, яка б давала змогу встановити адекватну реологічну модель неньютонівської рідини та розрахувати її параметри. Подібні задачі для оцінки реологічних властивостей бурових і тампонажних розчинів за експериментальними даними ротаційної віскозиметрії вирішуються в роботах [4].

Метою роботи є розробка програмного комплексу опрацювання інформації в гідродинамічних системах автоматизованого контролю реологічних параметрів неньютонівських рідин.

Виклад основного матеріалу. Чутливими елементами гідродинамічних пристроїв є циліндричні трубки різної форми, розміри яких визначаються діапазоном вимірювання параметрів та необхідними швидкостями деформування. Порівняно з капілярними в гідродинамічних перетворювачах трубки мають більший розмір і під час течії в них неньютонівських рідин, що містять бульбашки, частинки твердої фази, неоднорідність контрольованого середовища істотно не впливає на характеристики течії, за якими встановлюється реологічна модель і параметри рідин. Разом з тим чутливість вимірювання достатньо висока.

Зауважимо, що для деяких неньютонівських рідин, зокрема суспензій, важливо щоб характеристики механічної дії в процесі вимірювань і промислового застосування були однаковими. Наприклад, результати вимірювання за допомогою гідродинамічних систем можуть успішно застосовуватись для технологічної оптимізації реологічних властивостей суспензій в процесі їх транспортування.

Гідродинамічні системи контролю реологічних параметрів неньютонівських рідин побудовані на основі послідовно з'єднаних мостових перетворювачів, які працюють в режимі постійної витрати [2]. Кожний мостовий перетворювач складається з трубок однакового діаметру, в протилежних плечах якого розміщені трубки однієї довжини. Ці та інші конструктивні особливості компенсують методичну похибку вимірювання реологічних параметрів, зумовлену кінцевими ефектами трубок, а зміною режимних характеристик можна зменшити похибку від ефекту пристінного ковзання за його наявності.

Інша методична похибка вимірювання реологічних параметрів пов'язана із способом опрацювання вихідних сигналів гідродинамічних перетворювачів. Вона виникає з двох причин, або встановлена неадекватна реологічна модель і властивості рідини підпорядковуються іншим реологічними моделями, або, якщо реологічна модель вибрана правильно, розрахунок значень параметрів здійснений із значними похибками. Ці похибки можуть виникати внаслідок того, що навіть для найпростіших реологічних моделей зв'язок між реологічними параметрами та вимірними перепадами тиску у вихідних діагоналях мостових перетворювачів є нелінійним, і не для кожної рідини його можна знайти в явному вигляді [3].

Гідродинамічна вимірювальна система реологічних параметрів рідини (рис. 1) складається з послідовно з'єднаних гідродинамічних мостових перетворювачів, задавача витрати, дифманометричних перетворювачів, мікропроцесорного

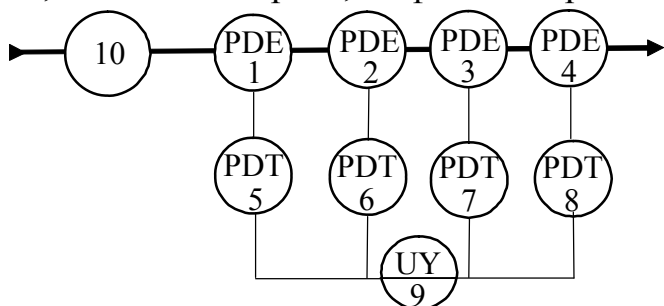


Рис. 1. Функціональна схема гідродинамічного пристрою для вимірювання реологічних параметрів: 1,2,3,4 – гідродинамічні мостові перетворювачі; 5,6,7,8 – дифманометричні перетворювачі; 9 – мікропроцесорний обчислювач; 10 – задавач витрати.

обчислювача на базі промислового комп'ютера. Чутливими елементами мостових перетворювачів є циліндричні трубки однакового діаметру, що з'єднані в схему гідравлічного моста. В протилежних плечах моста розміщують трубки однакової довжини, а в суміжних плечах трубки мають різну довжину. Таким чином мостові перетворювачі відрізняються між собою діаметрами трубок D , а також різницями довжин трубок ΔL .

Під час руху контрольованої рідини в трубках мостових перетворювачів в їх вихідних діагоналях виникають перепади тиску ΔP , які є вихідними даними для знаходження реологічних параметрів. Ці сигнали і підлягають опрацюванню. Основою для визначення реологічних властивостей є математичні моделі мостових перетворювачів. Вони в свою чергу базуються на математичних мо-

делях окремих чутливих елементів, що складають мостову схему і визначається реологічною поведінкою рідини [3].

Узагальнене рівняння витратної характеристики кожного мостового перетворювача запишемо у вигляді [3]

$$F = \frac{\pi R^3}{3} \int_{\tau_w}^{\tau_w} \tau^2 f(\tau) d\tau, \quad (1)$$

де F – об'ємна витрата рідини в трубці; $\tau_w = \frac{\Delta P R}{2\Delta L}$ – напруження зсуву на стінці трубки; ΔP – перепад тиску у вихідній діагоналі мостового перетворювача; $R = \frac{D}{2}$ – радіус трубки; ΔL – різниця довжин суміжних трубок; $\dot{\gamma} = f(\tau)$ – реологічна модель рідини, що встановлює зв'язок між швидкістю зсуву $\dot{\gamma}$ та напруженням зсуву τ . Серед основних припущень при доведенні рівняння (1) відзначимо ламінарний режим руху рідини в трубках і незмінність властивостей рідини в часі. Рівняння (1) є універсальним для рідин, що підпорядковуються стаціонарним реологічним моделям. В інженерній практиці найбільшого поширення набули такі моделі [1,5]:

$$\text{модель Ньютона } \tau = \mu \cdot \dot{\gamma}, \quad (2)$$

$$\text{степенева модель Оствальда } \tau = K \cdot \dot{\gamma}^n, \quad (3)$$

$$\text{модель Бінгама, } \tau = \tau_0 + \eta \cdot \dot{\gamma}, \quad (4)$$

$$\text{модель Гершеля-Балклі } \tau = \tau_0 + K_1 \dot{\gamma}^n, \quad (5)$$

$$\text{модель Кессона-Шульмана } \tau^{1/n} = \tau_0^{1/n} + (K_1 \cdot \dot{\gamma})^{1/n}, \quad (6)$$

$$\text{узагальнена модель Гершеля-Балклі } \tau^{n_1} = \tau_0^{n_1} + K_1 \cdot \dot{\gamma}^{n_2}, \quad (7)$$

в яких μ – динамічна в'язкість; η – пластична в'язкість; τ_0 – динамічне напруження зсуву; K, K_1, n, n_1, n_2 – емпіричні і напівемпіричні константи та індекси степенів – параметри реологічних моделей. Для кожної з цих моделей на основі формули (1) доведені рівняння витратних характеристик мостового перетворювача у вигляді [3]

$$F = \varphi(\Delta P, R, \Delta L, a), \quad (8)$$

де a – реологічні параметри. За винятком рівняння Пуазейля для ньютонівської рідини всі інші витратні характеристики є нелінійними. Розв'язок рівняння (8) відносно перепаду тиску, окрім ньютонівської та степеневої рідин, в явному вигляді досить складний для визначення реологічних параметрів за вимірними значеннями перепаду тиску у вихідних діагоналях мостових перетворювачів та витрати рідини.

Розглянемо методи опрацювання вимірних перепадів тиску у вихідних діагоналях мостових перетворювачів.

1. Безпосередній метод визначення реологічних параметрів рідин полягає в тому, що для вибраної моделі складають систему з рівнянь витратних характеристик мостових перетворювачів та розв'язують її відносно реологічних пара-

метрів. Для прикладу система рівнянь для степеневі рідини, записана у консі-
стентних змінних τ_w і Γ , матиме вигляд

$$\begin{cases} \tau_{w1} = K \cdot \left(\frac{3n+1}{4n} \cdot \Gamma_1 \right)^n \\ \tau_{w2} = K \cdot \left(\frac{3n+1}{4n} \cdot \Gamma_2 \right)^n \end{cases} \quad (9)$$

$\Gamma_1 = \frac{4F}{\pi R_1^3}$, $\Gamma_2 = \frac{4F}{\pi R_2^3}$ – уявна швидкість зсуву рідини відповідно в трубках од-
ного та другого мостових перетворювачів; $\tau_{w1} = \frac{\Delta P_1 R_1}{2\Delta L_1}$, $\tau_{w2} = \frac{\Delta P_2 R_2}{2\Delta L_2}$ – дотич-

не напруження зсуву на стінці трубок двох мостових перетворювачів. Зауважи-
мо, що за відсутності ефекту пристінного ковзання об’ємна витрата F рідини в
трубках кожного мостового перетворювача однакова. Тоді показник нелінійно-
сті n і показник консистенції K визначають за формулами

$$n = \ln\left(\frac{\tau_{w1}}{\tau_{w2}}\right) / \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)^3, \quad K = \tau_{w1} \cdot \left(\frac{4n}{3n+1} \cdot \frac{1}{\Gamma_1}\right)^n \quad (10)$$

Для реологічних моделей Бінгама, Гершеля-Балклі, Кесона-Шульмана систему
нелінійних рівнянь доводиться розв’язувати числовими методами. Зазначимо,
що мінімальна кількість гідродинамічних мостових перетворювачів у вимірю-
вальній системі для двопараметричних реологічних моделей дорівнює двом,
для трипараметричних – трьом. Наприклад для узагальненої моделі Гершеля-
Балклі з чотирма параметрами, таких перетворювачів має бути не менше чоти-
рьох.

2. Метод визначення реологічних параметрів, який полягає у вирішенні оп-
тимізаційної задачі за вибраним критерієм. Змінюючи значення реологічних
параметрів, критерій оптимальності мінімізують за допомогою вибраного мето-
ду оптимізації. Знайдені значення реологічних параметрів і є шуканими пара-
метрами. Таким критерієм оптимальності може бути середньоквадратичне від-
хилення $\sigma_{\Delta P}$ розрахованих значень перепадів тиску (напружень на стінці тру-
бок) в мостових перетворювачах від експериментальних значень

$$\sigma_{\Delta P} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\Delta P_i^p - \Delta P_i)^2} \quad (11)$$

Дещо простіше розраховувати реологічні параметри за середньоквадратичним
відхиленням σ_F розрахованих значень витрати рідини в трубках мостових пе-
ретворювачів від витрати задавача

$$\sigma_F = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (2F_i - F_0)^2} \quad (12)$$

де $i = \overline{1, N}$ – номер мостового перетворювача; N – кількість мостових перетворювачів; ΔP_i^P , ΔP_i – розраховані та експериментальні значення перепаду тиску на виході мостових перетворювачів; F_0 – продуктивність задавача; F_i – значення витрати, розраховані за рівнянням витратної характеристики. Цікавим щодо ефективності розрахунку реологічних параметрів рідин може бути застосування в якості критерію не σ_F , а величини середньоквадратичного відхилення уявної швидкості зсуву σ_Γ :

$$\sigma_\Gamma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\Gamma_i^P - \Gamma_i)^2}, \quad (13)$$

де Γ_i^P , Γ – розраховані та експериментальні значення уявної швидкості зсуву. Адекватною вважається та реологічна модель, для якої значення вибраного критерію оптимальності набуває мінімального значення.

3. Визначення реологічних параметрів за консистентними змінними τ_w і Γ полягає в тому, що знайдені N значень τ_{wi} і Γ_i консистентних змінних апроксимують рівнянням $\tau_w = f(\Gamma)$ [1]. Далі за рівнянням Рабиновича-Муні для кожного мостового перетворювача знаходять значення швидкості зсуву $\dot{\gamma}_w$, які застосовують для знаходження реологічних параметрів K, n наприклад моделі Гершеля-Балклі за такими формулами

$$n = \left(\ln \left(\frac{\tau_{w1} - \tau_0}{\tau_{w4} - \tau_0} \right) / \ln(\dot{\gamma}_{w1} / \dot{\gamma}_{w4}) \right), K = \frac{\tau_{w1} - \tau_{w2}}{\dot{\gamma}_{w1}^n - \dot{\gamma}_{w2}^n}, \quad (14)$$

4. Метод середніх [1] відрізняється від попереднього лише способом обробки даних. Спочатку для вибраної моделі за експериментальними значеннями τ_{wi} і Γ_i консистентних змінних розраховують значення швидкості зсуву $\dot{\gamma}_{wi}$ в кожному мостовому перетворювачі. Для прикладу розглянемо знаходження параметрів моделі Бінгама у вимірювальній системі, що складається з чотирьох послідовно з'єднаних мостових перетворювачів. Складемо систему рівнянь

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^2 \tau_{wi} = 2\tau_0 + \eta \cdot \sum_{i=1}^2 \dot{\gamma}_{wi} \\ \sum_{i=3}^4 \tau_{wi} = 2\tau_0 + \eta \cdot \sum_{i=3}^4 \dot{\gamma}_{wi} \end{cases} \quad (15)$$

Розв'язок системи (15) дає значення реологічних параметрів

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^2 \tau_{wi} - \sum_{i=3}^4 \tau_{wi}}{\sum_{i=1}^2 \dot{\gamma}_{wi} - \sum_{i=3}^4 \dot{\gamma}_{wi}}; \tau_0 = \frac{1}{2} \left(\sum_{i=1}^2 \tau_{wi} - \eta \cdot \sum_{i=1}^2 \dot{\gamma}_{wi} \right). \quad (16)$$

За аналогічними формулами можна знайти параметри степеневі моделі, якщо її прологарифмувати.

5. Оцінку реологічних параметрів, наприклад моделі Бінгама можна здійснити на основі значень уявної в'язкості:

$$\mu_a = \frac{\tau_w}{\Gamma} = \frac{\Delta P \pi R^4}{8 \Delta L F} \quad (17)$$

Оскільки уявна в'язкість наближається до пластичної в'язкості η при великих швидкостях зсуву, то точніші значення отримують за сигналами двох мостових перетворювачів з меншими діаметрами трубок. Наприклад, якщо радіуси R_1, R_2 трубок мостових перетворювачів є найменшими, то оцінку значення пластичної в'язкості η^* можна здійснити за формулою

$$\eta^* = \mu_{a2} \cdot \left(\frac{\mu_{a1}}{\mu_{a2}} \right)^{\frac{1}{1-\Gamma_2/\Gamma_1}}, \quad (18)$$

де μ_{a1}, μ_{a2} – значення уявної в'язкості, розраховані за результатами вимірювання перепаду тиску в першому і другому мостових перетворювачах за формулою (17); Γ_1, Γ_2 – уявна швидкість зсуву рідини в трубках першого і другого мостового перетворювача відповідно. Для оцінки граничного напруження зсуву можна скористатись наближеною формулою

$$\tau_0^* = \frac{3}{4} \cdot (\tau_{w1} - \Gamma_1 \cdot \eta^*). \quad (18)$$

Похибка визначення η^* і τ_0^* за формулами (10) і (11) при швидкостях зсуву 500-2000 с^{-1} для бінгамівських рідин з різноманітним співвідношенням в'язкісних і пластичних властивостей не перевищує 10%.

Наведені методи визначення реологічних параметрів неньютонівських рідин в гідродинамічній вимірювальній системі за вихідними сигналами мостових перетворювачів реалізовані в програмному комплексі засобами середовища Matlab. Базовими моделями для інтерпретації течії неньютонівських рідин вибрані моделі Оствальда, Бінгама, Гершеля-Балклі, Кессона-Шульмана та узагальнена Гершеля-Балклі.

Вихідними даними для визначення параметрів сирої нафти, що досліджувалась за допомогою гідродинамічної системи, є перепади тиску у вихідних діагоналях мостових перетворювачів, їх конструктивні та режимні характеристики, які наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Вихідні дані для визначення параметрів

№ мостового перетворювача	1	2	3	4
Перепад тиску, кПа	12.95	7.5	5.3	2.9
Діаметр трубок, мм	4.000	5.000	6.002	7.990
Продуктивність задавача, л/год	100			

В таблиці 2 наведені результати розрахунку реологічних параметрів рідини описаними вище методами для трьох моделей: степеневі, Бінгама і Герше-

ля-Балклі. В другому методі з метою порівняння результатів вибранійі однако- вий критерій оптимальності σ_F та оптимізаційний метод Нелдера-Міда.

Таблиця 2

Значення реологічних параметрів, знайдених різними методами

№ ме- тоду	Значення реологічних параметрів						
	Степенева		Бінгама		Гершеля-Балклі		
	$K, \text{Па}\cdot\text{с}^n$	n	$\tau_0, \text{Па}$	$\eta, \text{Па}\cdot\text{с}$	$\tau_0, \text{Па}$	$K_1, \text{Па}\cdot\text{с}^n$	n
1	0.25877	0.7030	6.800	0.02458	2.412	0.11631	0.8071
2	0.23743	0.7165	5.388	0.02733	2.409	0.11492	0.8088
3	0.28108	0.7044	6.211	0.02439	3.431	0.06973	0.8737
4	0.25877	0.7030	7.595	0.02439	2.202	0.11505	0.8055
5	–	–	5.890	0.02574	–	–	–

Аналіз результатів розрахунку параметрів для цих моделей показує, що внаслідок залежності експериментальних значень перепадів тиску від двох- трьох реологічних параметрів похибка визначення одного з них, спричиняє по- хибку визначення іншого. Порівнюючи наведені методи, варто відзначити, що результати розрахунку за методами 1 і 3 залежать від того, сигнали яких мосто- вих перетворювачів застосовуються для опрацювання, тобто від вибору швид- костей зсуву. Тому ці методи доцільно поєднувати з методом середніх.

На рис.2 показані консистентні криві течії, розраховані за другим методом для моделей Оствальда, Бінгама, Гершеля-Балклі. Значення σ_F для вказаних моделей відповідно становлять $4.84373\cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с}$, $6.90221\cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с}$, $3.621591\cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с}$. За вибраним критерієм адекватною є модель Гершеля-Балклі, для якої значення σ_F є мінімальним. В методі розрахунку реологічних параметрів за другим методом, крім зазначеного критерію оптимальності σ_F , застосовували також інші критерії оптимальності - σ_Γ і $\sigma_{\Delta P}$. Отримані результати розрахунку, відо- бражені в табл. 3 свідчать, що визначення реологічних параметрів за мінімумом σ_Γ забезпечує практично таку ж похибку, що і за мінімумом $\sigma_{\Delta P}$, але час роз- рахунку істотно менший за рахунок зменшення обчислювальних операцій.

Таблиця 3

Характеристики другого методу в залежності від вибраного критерію оптимальності

Критерій опти- мальності	$\tau_0, \text{Па}$	$\eta, \text{Па}\cdot\text{с}$	$\sigma_F, \text{ м}^3/\text{с}$	$\sigma_\Gamma, 1/\text{с}$	$\sigma_{\Delta P}, \text{Па}$
σ_F	5.388	0.02733	6.90221e-007	59.55	325.6
σ_Γ	6.461	0.02552	1.12385e-006	31.72	164.7
$\sigma_{\Delta P}$	6.459	0.02551	1.12088e-006	31.73	164.6

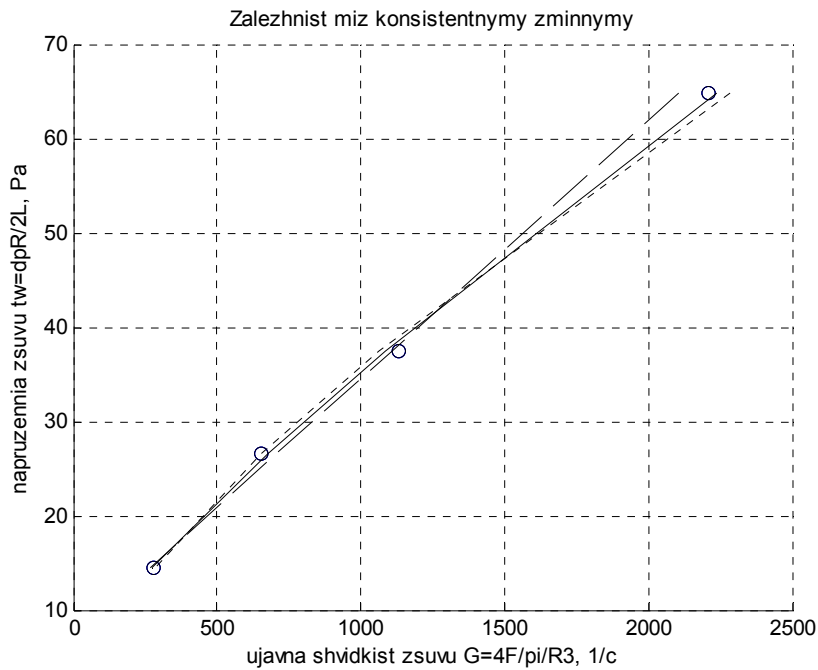


Рис. 2. Експериментальна (-o-) та консистентні криві течії реологічних моделей Оствальда (2), Бінгама (3), Гершеля-Балклі (4), розраховані за другим методом: (2) - “- - -” (3) - “- - -”; (4) - “—”.

Висновки. Для визначення реологічних параметрів за вихідними сигналами мостових перетворювачів гідродинамічної вимірювальної системи розроблений програмний комплекс, який складається з програмних модулів, в кожному з яких для вибраної реологічної моделі рідини реалізовані наведені вище методи. Результати опрацювання інформації показують, що одній і тій самій рідині в певному діапазоні швидкостей зсуву може бути підпорядковано декілька реологічних моделей, які за вибраним критерієм не поступаються одна другій.

Застосування того чи іншого реологічного рівняння для опису течії рідини визначається діапазоном швидкостям зсуву, який має відповідати умовам її застосування в технологічному процесі. Питання вибору адекватної реологічної моделі вирішується не тільки за мінімумом вибраного критерію, але й залежить від області застосування моделі та зручності її практичного використання.

Перспективою подальших досліджень буде розробка в програмному комплексі графічного інтерфейсу, який дозволить автоматично або в інтерактивному режимі вибирати реологічну модель рідини та розраховувати значення її реологічних параметрів.

Список літератури

1. Инженерная реология жиросодержащих пищевых продуктов / Арет В.А., Забровский Г.П., Николаев Б.Л., Николаев Л.К. - С-Пб: СПбГУНиПТ, 2002. – 294 с.
2. Пістун Є.П., Крих Г., Леськів Г.Ф. Моделювання газогідродинамічних вимірювальних перетворювачів на мостових дросельних схемах із постійною витратою // Методи та прилади контролю якості. – Ів.-Франківськ, 2003. – Вип. 10. – С. 87-89.
3. Крих Г. Б. Математичні моделі дросельних елементів гідродинамічних вимірювальних перетворювачів параметрів неньютонівських рідин // Теплоенергетика. Інженерія доквілля.

Автоматизация. Вісник Національного університету “Львівська політехніка”. – Львів:НУ “Львівська політехніка”, 2008. – № 617. -С. 122 - 129.

4. Определение реологических свойств буровых растворов по данным ротационной вискозиметрии / М.А.Мыслюк, А.А. Васильченко, Ю.М. Салыжин, Е.В. Кустурова // НТЖ. Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – М.:ОАО «ВНИИОЭНГ», 2006. – № 12. – С.29-33.

5. Крих Г. Б. Особливості застосування реологічних моделей неньютонівських рідин. // Теплоенергетика. Інженерія докiлля. Автоматизація. Вісник Національного університету “Львівська політехніка”. – Львів:НУ “Львівська політехніка”, 2007. – № 581. – С. 71 - 82.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Слесарєвим В.В.
Надійшла до редакції 15.06.11*

УДК 622.6-52

© В.В. Ткачев, С.Н. Проценко, Р.В. Макитренко, П.Ю. Огеенко

ПРИМЕНЕНИЕ ИНВЕРСНЫХ УРОВНЕЙ СИГНАЛОВ НА ФИЗИЧЕСКОМ УРОВНЕ В CAN-СЕКМЕНТЕ

Дан анализ проблемы применения CAN технологий в горнодобывающей промышленности. Рассмотрена актуальность поиска решения для обеспечения искробезопасности CAN-сегмента. Предложено использование новой схемы организации физического уровня сегмента. Представлены модели, использованные для проведения экспериментов. По результатам экспериментов сделаны выводы о возможности применения предложенного решения.

Надано аналіз проблеми застосування CAN технологій в гірничодобувній промисловості. Розглянуто актуальність пошуку рішення для забезпечення іскробезпеки CAN-сегмента. Запропоновано використання нової схеми організації фізичного рівня сегмента. Представлені моделі, використані для проведення експериментів. За результатами експериментів зроблено висновки про можливість застосування запропонованого рішення.

The problem of CAN technology applying in the mining industry is analyzed. The search for an actual solution for intrinsically safe of CAN-segment is considered. Usage of the new organization scheme of the physical segment level is proposed. The models used for the experiments are presented. Conclusions according to the results of experiments of the applicability of the proposed solution are made.

Тенденции развития автоматизации процессов управления направлены на совершенствование технологических датчиков и увеличение объемов поступающей с них полезной информации, которая используется как для выработки соответствующего логически обоснованного воздействия со стороны исполнительных механизмов, так и для сбора статистических данных о протекании контролируемого процесса. Таким образом, современное управление технологическими объектами требует обеспечения надежного и быстрого канала связи для обмена большими объемами данных.

Такие интерфейсы как RS-485 и токовая петля морально устарели и не всегда способны справиться с поставленной перед автоматизацией задачей – низкая скорость обмена данными, малое число потребителей, отсутствие встроенных средств борьбы за канал и т.п. Пришедшие же им на смену современные