

681.518 (043)  
K 59

Національний університет "Львівська політехніка"

Козак Олексій Федорович

*Козак*  
681.518 (043)

УДК 620.169.2/665.71

K59

**РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДУ  
ЕКСПРЕС-КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІДИН  
ЗА ПОТЕНЦІАЛОМ ПРОТІКАННЯ**

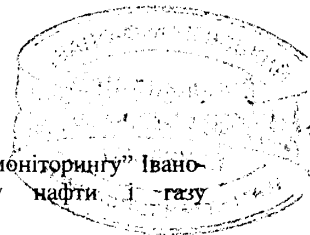
Спеціальність 05.11.13 – прилади і методи контролю  
та визначення складу речовин

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Львів – 2010

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі “Технічної діагностики і моніторингу” Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу Міністерства освіти і науки України



Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
**Карпаш Олег Михайлович**  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри “Технічної діагностики і моніторингу”

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Древецький Володимир Володимирович**,  
Національний університет водного господарства та природокористування МОН України, професор кафедри електротехніки та автоматики

доктор технічних наук, професор  
**Яцун Михайло Андрійович**,  
Національний університет «Львівська політехніка» МОН України, професор кафедри електричних машин і апаратів

Захист відбудеться 22 жовтня 2010 р. о 14<sup>00</sup> год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.04

при Національному університеті “Львівська політехніка” за адресою: 79013, Львів-13, вул. С.Бандери, 12, ауд. 51 X-го навчального корпусу

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету “Львівська політехніка” (79013, Львів-13, вул. Професорська, 1)

Автореферат розісланий 11 вересня 2010 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради,  
кандидат технічних наук, доцент

Вашкурак Ю.З.



**Ість теми.** У технологічних процесах нафтогазової галузі – бурінні, видобуванні та промисловій підготовці вуглеводневої продукції, підготовці вуглеводнів до транспортування і зберігання визначення якості (концентрації) різноманітних технологічних рідин і в першу чергу вмісту в них складників, що погіршують показники призначення, є штатною технологічною операцією. Це, наприклад, визначення вмісту води в рідинній продукції свердловин, у гліколях, нафтових емульсіях чи нафтопродуктах, вмісту гліколів у водяному конденсаті, вмісту метанолу у воді тощо. Огляд сучасних закордонних та вітчизняних методів і засобів контролю, зокрема, вмісту води в технологічних рідинах свідчить, що, не дивлячись на широку гаму методів, вони трудомісткі, або непридатні для експрес-контролю. Таким чином, задача розроблення та впровадження нових методів експрес-контролю якості технологічних рідин, у тому числі й з використанням властивостей окремих фізичних явищ у середовищі таких рідин, є безумовно актуальною.

Розв'язання цієї задачі підвищить достовірність контролю кількісного складу технологічних рідин, сприятиме досягненню оптимальних технологічних параметрів і економічно вигідних шляхів реалізації виробничих процесів нафтогазової галузі.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами темами.** Дисертаційна робота виконувалася як складова Державних програм “Створення та організація виготовлення бурового нафтогазопромислового устаткування і техніки для будівництва нафтогазопроводів з науково-технічною частиною до 2010 року” і “Енергетична стратегія України на період до 2030 року” (затверджена розпорядженням КМУ № 145-Р від 15.03.2006 р.) та базується на результатах держбюджетної науково-дослідної роботи Д-3-07-П “Науково-методологічні основи діагностування і управління у нафтогазовій галузі для оптимізації витрат енергоресурсів” за номером державної реєстрації 0107U001560, що виконувалася за безпосередньою участю автора.

**Мета роботи** полягає в розробленні нового методу експрес-контролю якості (концентрації) технологічних рідин з використанням електродкінетичного явища потенціалу протікання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати сучасний стан розробки та впровадження в промисловості, у тому числі в нафтогазовій галузі, методів та засобів контролю якості технологічних рідин;
- створити математичну модель явища потенціалу протікання, встановити взаємозв'язки між значеннями потенціалу протікання і кількісним складом технологічних рідин;
- розробити новий метод експрес-контролю якості (концентрації) технологічних рідин за потенціалом протікання;
- розробити методики та дослідні стенди і виконати експериментальні дослідження з метою вивчення залежності потенціалу протікання від концентрації води в розчині диетиленгліколю (ДЕГ);
- розробити, виготовити, дослідити та провести промислову апробацію

інформаційно-вимірювальної системи (ІВС) для експрес-контролю якості абсорбентів установок осушення природного газу.

**Об'єктом дослідження** є електрокінетичне явище потенціалу протікання в середовищах технологічних рідин.

**Предметом дослідження** є методи та засоби контролю якості (концентрації) технологічних рідин.

**Метод дослідження.** Для встановлення взаємозв'язків між концентрацією технологічної рідини та інформативними параметрами явища потенціалу протікання використовувались класична теорія електрокінетичних явищ Гельмгольца-Гуї-Штерна, теорія ламінарного руху рідин у капілярах Пуазейля, метод математичного моделювання, теорія подібності. Під час проведення експериментальних досліджень та обробки їх результатів застосовувались теорія планування експериментів і метод найменших квадратів. Розроблення технічних засобів здійснювалось з використанням методів схемотехніки.

**Наукова новизна одержаних результатів** визначається тим що:

– вперше на основі розроблених фізичної і математичної моделей встановлено взаємозв'язок електрокінетичного фактора – потенціалу протікання досліджуваної технологічної рідини з її концентрацією, що ґрунтується на залежності між електричними і гідродинамічними полями явища потенціалу протікання;

– вперше розроблено новий метод експрес-контролю якості (концентрації) технологічних рідин, суттю якого є визначення концентрації контролюваного компонента досліджуваної рідини за залежністю потенціалу протікання від перепаду тиску на первинному перетворювачі потенціалу протікання (ПП), що відрізняється лінійністю, є комплексним і може застосовуватись в широкому діапазоні зміни діелектричної проникності, електропровідності та в'язкості ньютонівських рідин;

– вперше експериментально встановлена залежність концентрації води у технологічному розчині ДЕГ від значення потенціалу протікання, що використана в розробленій ІВС контролю якості абсорбентів установок осушення природного газу;

– дістало подальший розвиток питання визначення впливу на потенціал протікання відношення радіуса капіляра до товщини подвійного електричного шару та довжини вхідної ділянки капіляра з метою досягнення усталених максимальних значень потенціалу протікання, що підвищило достовірність результатів виконаних дослідів.

**Положення, що виносяться на захист:**

1. Новий метод експрес-контролю якості (концентрації) технологічних рідин за електрокінетичним явищем потенціалу протікання.

2. Встановлення залежності концентрації води в технологічному розчині ДЕГ від значення потенціалу протікання цього розчину.

**Практичне значення** одержаних результатів полягає в тому, що розроблений метод експрес-контролю концентрації технологічних розчинів рідин

реалізовано в ІВС контролю якості абсорбентів установок осушення природного газу. Зазначена ІВС із позитивними результатами пройшла промислово апробацію на базі установки осушення газу Богородчанського виробничого управління підземного зберігання газу (ВУПЗГ) УМГ “Прикарпаттрансгаз”. Розроблено проект СОУ з експрес-контролю якості технологічних рідин нафтогазової та нафтохімічної промисловості за потенціалом протікання.

**Особистий внесок здобувача.** Основна частина теоретичних та експериментальних досліджень, висновки і рекомендації виконані автором самостійно. Зокрема, особисто автором:

- запропонований новий метод визначення концентрації технологічних рідин за потенціалом протікання і пристрій для його реалізації, що захищені патентами [2, 3, 7, 8];

- за аналізом математичної моделі явища сформовані вимоги до основних геометричних характеристик капілярних систем для отримання усталеного максимального значення потенціалу протікання, що підвищило достовірність визначення концентрації рідин за потенціалом протікання [4];

- експериментально встановлено зв’язок між концентрацією води в розчинах ДЕГ та значенням потенціалу протікання розчину [1, 5, 6, 9-12];

- сконструйований і випробуваний ПП зі скляними кульками, який за електрокінетичними характеристиками переважає скляні одинарний прямий капіляр та пористу перегородку і підвищує достовірність вимірювання потенціалу протікання [4, 5];

- запропоновані нові конструктивні рішення, які були використані при розробленні експериментальних стендів та ІВС з контролю якості абсорбентів [3, 5, 7, 8, 11, 12].

З опублікованих у співавторстві робіт використовуються результати, що отримані здобувачем особисто.

**Апробація роботи.** Основні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на наукових семінарах кафедри технічної діагностики та моніторингу у 2006, 2007, 2008, 2009 р.р.; на науково-технічній конференції “Підвищення ефективності використання поверхнево-активних речовин в нафтогазовидобутку” (м. Івано-Франківськ, 2000 р.), на міжнародній науково-технічній конференції молодих вчених “Техніка і прогресивні технології в нафтогазовій інженерії” (м. Івано-Франківськ, 2008 р.); на шістнадцятій міжнародній конференції “Сучасні методи та засоби неруйнівного контролю і технічної діагностики” (м. Ялта, 2008 р.), на міжнародній науково-технічній конференції “Нафтогазова енергетика: проблеми та перспективи” (м. Івано-Франківськ, 2009 р.).

**Публікації.** За результатами досліджень, що викладені в дисертації, опубліковано 6 статей у фахових виданнях (3 статті одноосібно), 4 тези матеріалів конференцій (2 тези одноосібно), отримано 2 патенти на винахід (1 патент одноосібно).

**Структура та об’єм роботи.** Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел із 130 найменувань,

трьох додатків, і викладена на 123 сторінках, у т.ч. 34 рисунків та 8 таблиць.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі дана загальна характеристика дисертаційної роботи. Обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовані мета та основні задачі дослідження. Наведено характеристику наукової новизни і практичного значення одержаних результатів, подано відомості про особистий внесок здобувача та апробацію результатів роботи.

У першому розділі викладено виконаний аналіз сучасних методів та засобів контролю якості технологічних рідин. Різноманітність досліджуваних технологічних рідин, широкий діапазон вимірюваних концентрацій, складність і велика відмінність в умовах вимірювання зумовили створення значної кількості методів та приладів для аналізу хімічного складу і визначення концентрації: це хімічні, електрохімічні, іонізаційні, електрофізичні, оптичні, спектрометричні та комбіновані методи.

Значний внесок у розробку теоретичних та експериментальних досліджень методів контролю якості технологічних рідин внесли В.Древецький, І.Кісіль, Є.Пістун, В.Поліщук, Б.Стадник, П.Столярчук, П.Бернард, Р.Конінгсвельд, А.Маслов та ін.

У технологічних процесах нафтогазової галузі актуальною є задача визначення вмісту води в різноманітних технологічних рідинах. Для цього в даний час найбільш широко застосовуються наступні методи аналізу: прямої відгонки води, Фішера, Діна і Старка, карбідний (газометричний) метод кількісного визначення води, рефрактометрії, хроматографії. Залежно від значення концентрації розчинів використовують той чи інший метод, що, як зазначалося, не позбавлені недоліків.

Стосовно нових методів контролю якості технологічних рідин слід відзначити не використані саме в цьому плані можливості електрокінетичних явищ і, зокрема, потенціалу протікання. За останні 20-30 років опублікована значна кількість робіт про потенціал протікання в різноманітних галузях науки від видобування нафти і газу та геофізики до мікробіології, медицини, що підтверджує правильність обраного напрямку дослідження.

Другий розділ присвячений розробці теоретичних засад методу експрес-контролю якості (концентрації) технологічних рідин за потенціалом протікання.

За розробленою фізичною моделлю пропонуваного методу експрес-контролю, оснований на патентах автора, потенціал протікання досліджуваної рідини генерується в процесі її вимушеного руху через ППІ і вимірюється двома електродами та вольтметром з великим вхідним опором.

Залежність потенціалу протікання  $\Delta\phi$  від величин, що характеризують дане явище, одержана із системи диференціальних рівнянь математичної моделі явища. Для довгого капіляра з безлічі подібних йому капілярів пористого середовища у випадку нестисливого бінарного симетричного (1:1) електроліту зазначена система рівнянь у циліндричних координатах  $r, x$

складатся з наступних диференціальних рівнянь:

рівняння загального електричного струму в капілярі –

$$2\pi \cdot \rho_e(r) \cdot w_x(r) \cdot r \cdot dr + 2\pi \cdot \gamma \cdot E_x \cdot r \cdot dr = 0; \quad (1)$$

рівняння Пуассона –

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left( r \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = -\frac{\rho_e}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0}; \quad (2)$$

модифікованого рівняння Нав'є-Стокса –

$$\mu \cdot \frac{1}{r} \cdot \frac{d}{dr} \left( r \cdot \frac{dw_x}{dr} \right) = \frac{dp}{dx} + \rho_e \frac{\partial \varphi}{\partial x}, \quad (3)$$

де:  $\rho_e$  – об'ємна густина зарядів, Кл/м<sup>3</sup>;  $w_x$  – швидкість іона за умов стаціонарності течії, м/с;  $\gamma$  – електропровідність рідини, См/м;  $E_x = -(\partial\varphi/\partial x)$  – напруженість електричного поля в напрямку  $x$ , В/м;  $\varphi = \psi(r) + \varphi_0 - x \cdot E_x$  – електричний потенціал за принципом суперпозиції, В;  $\psi(r)$  – потенціал подвійного електричного шару в рівноважному стані в нерухомій рідині, В;  $\varepsilon$ ,  $\varepsilon_0$  – діелектричні проникності рідини та вакууму,  $\mu$  – коефіцієнт динамічної в'язкості рідини, Па·с;  $(dp/dx)$  – градієнт тиску, Па/м.

Граничними умовами системи диференціальних рівнянь (1)-(3) є: коли  $r = R$ , то  $\psi = \psi_s$  ( $\psi_s$  – потенціал подвійного електричного шару на внутрішній стінці капіляра), а  $w_x = 0$ ; коли  $r = 0$ , то  $(d\psi/dr) = 0$  і  $(dw_x/dr) = 0$ .

За умов стаціонарної ламінарної течії ньютонівської рідини, за припущення однаковості значень  $\varepsilon$ ,  $\mu$  у всіх точках розглядуваного об'єму капіляра, незалежності  $\mu$  від локальної концентрації електроліту, суттєвого перевищення радіуса капіляра  $R$  над товщиною подвійного електричного шару та зміни концентрацій іонів у подвійному електричному шарі за розподілом Больцмана, у результаті отримано:

$$\Delta\varphi = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \psi_s}{\mu \cdot \gamma} \cdot K \cdot \Delta p, \quad (4)$$

де

$$K = K(A_1, \alpha \cdot R) = \frac{1 - \frac{2 \cdot U(\alpha \cdot R)}{\alpha \cdot R}}{1 - A_1 \cdot \left[ (1 - U(\alpha \cdot R))(1 + U(\alpha \cdot R)) - \frac{2 \cdot U(\alpha \cdot R)}{\alpha \cdot R} \right]}, \quad (5)$$

$$A_1 = (\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \psi_s \cdot \alpha)^2 / (\mu \cdot \gamma), \quad U(\alpha \cdot R) = y^1(\alpha \cdot R) / y^0(\alpha \cdot R),$$

$$\alpha = \left[ (2e^2 \cdot n_\infty) / (\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot k \cdot T) \right]^{0,5},$$

де:  $K$  – корекційний фактор, що відтворює вплив співвідношення між радіусом капіляра  $R$  та товщиною подвійного електричного шару ( $1/\alpha$ ) на величину потенціалу протікання;  $\Delta p$  – перепад тиску;  $y^0(\alpha \cdot R)$ ,  $y^1(\alpha \cdot R)$  – модифіковані функції Бесселя нульового та першого порядку;  $e$  – елементарний

заряд електрона, Кл;  $n_{\infty}$  – кількість (вміст) іонів в об'ємі електроліту,  $1/\text{м}^3$ ;  $k$  – стала Больцмана, Дж/К;  $T$  – абсолютна температура, К.

За властивостями модифікованих функцій Бесселя за  $x \cdot R \rightarrow \infty$  функція  $U(x \cdot R) \rightarrow 1$ , а  $U(x \cdot R)/(x \cdot R) \rightarrow 0$  і  $1 - U(x \cdot R) \rightarrow 0$ . Тоді за формулою (5) маємо, що  $K \rightarrow 1$  за умови  $x \cdot R \rightarrow \infty$ . Коли  $A_1 < 0,05$ , що характерно для розчинів ДЕГ з концентрацією води (1-10)% мас., вже за  $(x \cdot R) \geq 100$  значення  $K \geq 0,98$  і при зростанні  $(x \cdot R)$  асимптотично наближаються до одиниці.

Отримана формула (5) дозволяє визначити такі значення радіуса капіляра чи середнього радіуса пор ПП, які забезпечують максимальну величину  $K$ .

Фактори правої частини рівняння (4)  $\varepsilon, \mu, \gamma, \psi_s$  (або  $\zeta$ -потенціал за Смолюховським),  $K$  є залежними від концентрації. Отже, зазначені фактори зумовлюють наявність функціонального зв'язку між концентрацією рідини та величиною потенціалу протікання.

За незмінних концентрації і температури рідини потенціал протікання на одному і тому ж ПП пропорційний перепаду тиску на останньому:

$$\Delta\varphi = a \cdot \Delta p, \quad (6)$$

бо  $a = (\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \psi_s \cdot K) / (\mu \cdot \gamma)$  – константа. За умови сталої температури в дослідах кожне значення коефіцієнта  $a$ , визначене на одному й тому ж ПП за рівнянням прямої (6) як

$$a = \left. \frac{\partial \Delta\varphi}{\partial \Delta p} \right|_{t=const} = \operatorname{tg} \alpha = f(x), \quad (7)$$

де  $\alpha$  – кут нахилу прямої (6), пов'язане однозначно з конкретною концентрацією  $x$  контрольованого компонента в рідині, що є суттю пропонованого нового методу експрес-контролю якості технологічних рідин. Метод може застосовуватись в широкому діапазоні зміни  $\varepsilon, \gamma, \mu$  ньютонівських рідин, є комплексним (присутні елементи діелькометричного, кондуктометричного методів) та відрізняється лінійністю. Метод дозволяє достовірно визначити зміну концентрації, наприклад, води в технологічних рідинах на (0,05-0,1)% мас. в діапазоні зміни значень  $(\Delta\varphi / \Delta p) = (10-100)$  мВ/кПа.

На основі аналізу фізичної та математичної моделей нового методу експрес-контролю якості технологічних рідин визначені основні вимоги до ПП: стабільність його гідродинамічних і електрокінетичних характеристик, розміри пор ПП не зменшують  $\zeta$ -потенціал через вплив поверхневої провідності та не спричиняють значного гідравлічного опору; пористий елемент ПП легко промивається від механічних забруднень.

**Третій розділ** містить розроблену методіку і результати експериментальних досліджень, що були виконані з метою: визначення основних геометричних параметрів ПП, що забезпечують усталене значення потенціалу протікання та вибір ефективного ПП; підтвердження отриманих у другому розділі теоретичних висновків щодо розроблення нового методу експрес-контролю якості (концентрації) технологічних рідин за потенціалом



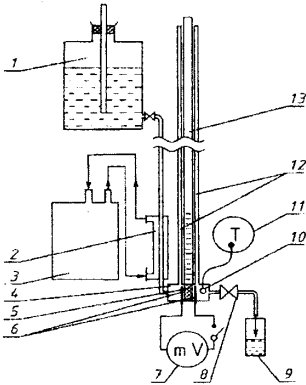
протікання та оцінки достовірності контролю; встановлення залежності потенціалу протікання технологічної рідини від перепаду тиску на ПП, температури та концентрації досліджуваної рідини; визначення вмісту води в ДЕГ за функціональною залежністю потенціалу протікання від перепаду тиску на ПП для синтезу моделі ІВС.

Суть методики експериментальних досліджень наступна. Потенціал протікання формувався в процесі руху досліджуваної рідини через ПП. Різниця потенціалів течії вимірювалася платиновими електродами та мультиметром моделі UT70A з великим вхідним опором і максимальною відносною похибкою вимірювання  $\pm 0,5\%$ . У кожному досліді фіксували і враховували при обробленні результатів початкову різницю потенціалів між електродами, зумовлену електродними процесами в нерухомій рідині. В якості ПП використовували: стандартний скляний хімічний фільтр типу ФКП товщиною 3 мм та діаметром 24 мм, скляні капіляри різних довжин з діаметром каналу 0,34, 0,50 та 0,73 мм; розроблений автором циліндричний ПП діаметром 16 мм із вмонтованими поперечно до його осі двома сітковими електродами на відстані в межах (20-60) мм, простір між якими заповнювався скляними кульками діаметром 1,12 мм. Діаметри капілярів та скляних кульок обрані з урахуванням отримання за формулою (5) значень корекційного фактора  $K \approx 1$ : радіуси капілярів та еквівалентний радіус внутрішніх каналів ПП з кульками ( $\approx 2,5 \cdot 10^{-4}$  м) гарантовано перевищують товщину подвійного електричного шару для дистильованої води, яка серед усіх полярних рідин відрізняється здатністю утворювати істотний за товщиною подвійний електричний шар ( $\sim 1 \cdot 10^{-6}$  м за температури 20 °С), а  $(\alpha \cdot R)_{\min} \geq 170$ .

Течія досліджуваної рідини та відповідно перепад тиску на ПП створювалися за допомогою: а) посудини Маріотта; б) шестеренного насосу. Перепад тиску течії на ПП визначався за допомогою двох п'єзометричних трубок і мірної лінійки з ціною поділки 1 мм. Витрата досліджуваної рідини вимірювалася об'ємним та масовим методами за допомогою стандартних мірних мензурок, ваги аналітичної ВПП-1 та секундоміра моделі С-1-2а "Агат". Температура рідини вимірювалася з максимальною похибкою  $\pm 0,5^\circ\text{C}$  платиноводієвою термopарою з вторинним приладом моделі М890G та стандартними ртутними термометрами. Усталеність температури течії забезпечувалась ультратермостатом моделі УТУ-3. Стабільність режиму течії досліджуваної рідини при конкретній її витраті оцінювалася візуально за незмінністю перепаду рівнів рідини в п'єзометричних трубках і температури рідини. При досягненні зазначених умов фіксували покази мультиметра, рівні рідини в п'єзометричних трубках, температуру рідини та її витрату. В процесі оброблення результатів дослідів використовували середньоарифметичні значення зафіксованих показників.

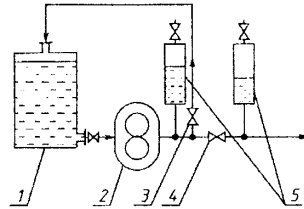
Експериментальний стенд із посудиною Маріотта (рис. 1) змонтований на вертикальних стійках висотою 3 м. На іншому експериментальному стенді (рис. 2) подачу досліджуваної рідини з підвищеною в'язкістю з посудини 1 до вимірної камери 4 (рис. 1) забезпечували шестеренним насосом 2

із керованим електроприводом. Коливання подачі рідини згладжувалися демпферами-ресиверами 5. Для виключення втрати генерованої різниці потенціалів течії в описаних вище експериментальних стендах усі канали та вентилі, через які здійснювався рух досліджуваної рідини, виготовлені з діелектриків – скла і полімерних матеріалів. Вимірна камера 4 з електродами, мілівольтметр 7 та з'єднувальні провідники були екрановані, а екрани – заземлені. Використана серійна контрольно-вимірвальна апаратура атестована в органах Держспоживстандарту.



- 1 – посудина Маріотта, 2 – теплообмінник,  
3 – термостат, 4 – камера вимірна,  
5 – ПП, 6 – електроди, 7 – мілівольтметр,  
8 – вентиль, 9 – збірник мірний,  
10 – терморпара, 11 – прилад вторинний,  
12 – трубки п'езометричні. 13 – лінійка мірна

**Рис. 1 – Схема експериментального стенда з дослідження потенціалу протікання**



- 1 – посудина,  
2 – насос шестеренний,  
3, 4 – вентилі, 5 – демпфери-ресивери

**Рис. 2 – Фрагмент схеми експериментального стенда з дослідження потенціалу протікання (з шестеренним насосом)**

Експерименти з прямими капілярами і дистильованою водою засвідчили, що в межах зміни критерію Рейнольдса  $Re$  від 180 до 2200 для досягнення усталеного значення потенціалу протікання довжина капіляра має складати (2,5-3) довжини вхідної ділянки стабілізації гідродинамічного режиму ламінарного руху течії  $\ell_{ce}$  за умов її ізотермічності. Остання визначається за співвідношенням

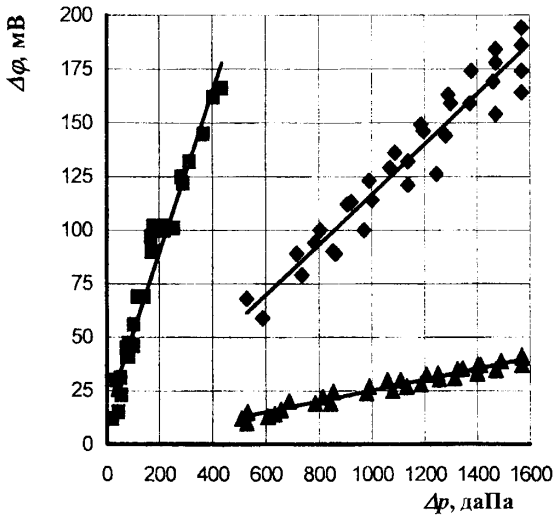
$$\ell_{ce} \approx 0,05 \cdot d \cdot Re. \quad (8)$$

За довжини меншої  $(2,5 \div 3) \cdot \ell_{ce}$  кількість надлишкових іонів дифузного шару, що зміщуються в напрямі руху течії, стає недостатньою для утворення усталеного значення потенціалу протікання.

За результатами виконаних експериментів за умови ізотермічності течії рідини на всіх досліджених ПП залежність потенціалу протікання від перепаду тиску на ПП має лінійний характер, що відповідає формулі (6). Під час

повторення декількох ідентичних серій дослідів характер узагальненої лінійної залежності зберігається, але коефіцієнт кореляції  $\rho$  зменшується (рис. 3).

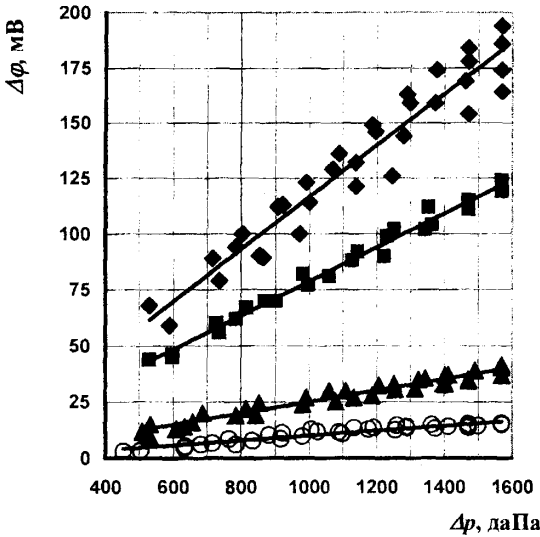
Скляна пориста перегородка та ПП з кульками порівняно з одинарним капіляром створюють більші значення потенціалу протікання за умови однакових перепадів тиску (рис. 3). Це ґрунтується на більшій поверхні контакту течії рідини зі стінками порових каналів. ПП з кульками за значеннями  $\zeta$ -потенціалу, розрахованого за даними дослідів, в ідентичних умовах у 3,19 рази перевищує  $\zeta$  скляної перегородки та в 4,92 разів  $\zeta$  одинарного капіляра діаметром 0,73 мм. Для визначення складу технологічних рідин ПП з кульками має серед досліджених ПП найвищу чутливість, не вимагає ретельного попереднього фільтрування досліджуваної рідини.



- – перетворювач зі скляними кульками,  $l = 57$  мм,  $\rho = 0,979$ ;
- ◆ – перегородка пориста скляна,  $\rho = 0,964$ ;
- ▲ – капіляр,  $d = 0,73$  мм,  $l = 70$  мм,  $\rho = 0,974$

Рис. 3 – Узагальнена залежність потенціалу протікання  $\Delta\phi$  від перепаду тиску  $\Delta p$  на первинних перетворювачах для дистильованої води за температури 20°C

Доцільність використання явища потенціалу протікання для розроблення на його базі методу експрес-контролю якості (концентрації) технологічних рідин у лабораторних умовах була перевірена і підтверджена на сумішах дистильованої води з невеликим вмістом етанолу, як менш полярної рідини в зазначеній суміші. За дослідями з ПП – скляною перегородкою (рис. 4) достовірно визначається зміна вмісту етанолу в суміші на (0,1-0,2) % об.



- перегородка пориста скляна:
- ◆ – вода,  $\rho = 0,964$ ; ■ – 5%-ний розчин етанолу,  $\rho = 0,993$ ;
  - капіляр  $d = 0,73$  мм,  $l = 70$  мм:
  - ▲ – вода,  $\rho = 0,974$ ; ○ – 5%-ний розчин етанолу,  $\rho = 0,961$

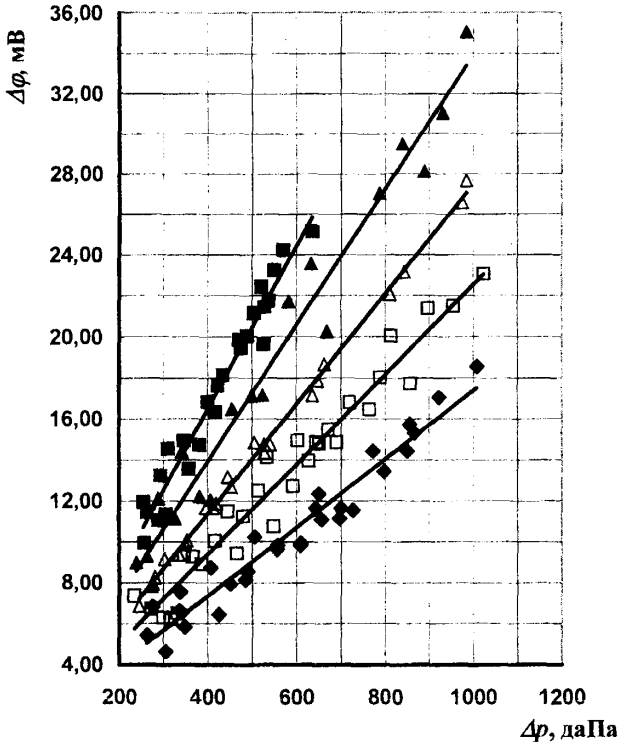
**Рис. 4 – Порівняння потенціалів протікання  $\Delta\phi$  дистильованої води та 5%-ного (об.) розчину етанолу в дистильованій воді за температури 20 °С при зміні перепаду тиску  $\Delta p$  на первинному перетворювачі**

З урахуванням важливості для газової та газопереробної промисловості технології абсорбційного осушення вуглеводневих газів гліколями, виконані досліді з визначенням вмісту води в ДЕГ – найбільш поширеному на Україні промислового абсорбенті установок осушення природного газу. Для цих дослідів-лабораторні стенди (рис. 1, 2) були дооснащені блоком обробки інформації [5]. Досліджено ДЕГ марки А (ГОСТ 10136-77): за масової частки ДЕГ 0,99 густина складала 1114 кг/м<sup>3</sup> за температури 20 °С; рН = 5,7; масова концентрація органічних домішок – не більше 0,04%. Вміст води  $x$  у розчині ДЕГ, що змінювався від 0,01 до 0,1 ч. мас., попередньо визначали карбідним методом і для контролю – перегонкою; ПП – зі скляними кульками. Інтервали зміни вмісту води в розчинах ДЕГ та його температури – від 17 °С до 40 °С обрані з урахуванням умов експлуатації промислових установок осушення природного газу.

Залежність  $\Delta\phi$  від  $\Delta p$  за умови ізотермічності течії в дослідях (рис. 5) апроксимується поліномом першого порядку

$$\Delta\phi = a \cdot \Delta p + b, \quad (9)$$

де  $a, b$  – дослідні коефіцієнти, що наведені в табл. 1.



вміст води (ч. мас.) ■ – 0,1,  $\rho = 0,9791$ ; ▲ – 0,075,  $\rho = 0,9831$ ;  
 △ – 0,05,  $\rho = 0,9983$ ; □ – 0,03,  $\rho = 0,9773$ ; ◆ – 0,01,  $\rho = 0,9712$   
 первинний перетворювач зі скляними кульками,  $l = 57$  мм

**Рис. 5** – Вплив вмісту дистильованої води в розчині ДЕГ на залежність потенціалу протікання  $\Delta\phi$  від перепаду тиску  $\Delta p$  на первинному перетворювачі за температури розчину 20 °С

**Таблиця 1** – Експериментальні значення коефіцієнтів  $a$ ,  $b$  рівняння (9),  $a_0$  рівняння (11)

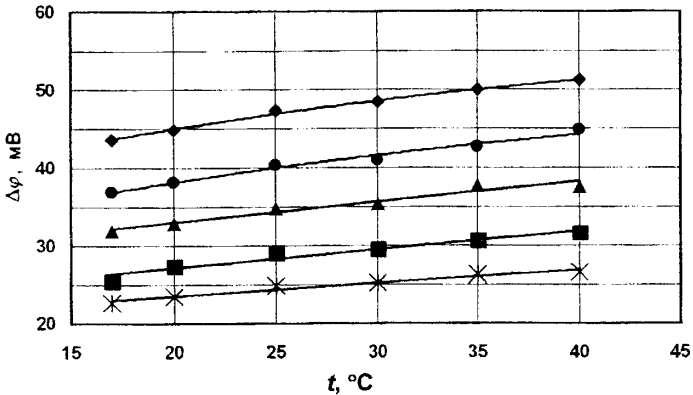
Вміст води $x$ в розчині ДЕГ, ч.мас.	$a$	$b$	$a_0 \cdot 10^2$
0,01	0,0167	0,6385	0,901
0,03	0,0219	0,6306	1,181
0,05	0,0268	0,6175	1,446
0,075	0,0333	0,6148	1,796
0,1	0,0397	0,6028	2,142

Методом планування експериментів отримано рівняння регресії, що відтворює функціональний зв'язок між потенціалом протікання та концентрацією води в розчині ДЕГ за умови його незмінної температури (20 °С):

$$\Delta\varphi = 11,78x + (21,18x + 1,82)\Delta p - 1,65, \quad (10)$$

де  $\Delta p$  – в кПа. Усі коефіцієнти рівняння (10) є значущими, а рівняння адекватним за довірчого рівня ймовірності 0,05. За умови  $x = const$  рівняння регресії (10) приводиться до виразу (9), у якому коефіцієнт  $a$  залежатиме як від концентрації води в розчині ДЕГ, так і від температури розчину. Зростання потенціалу протікання розчину ДЕГ з підвищенням температури (рис. 6) пояснюється збільшенням товщини дифузної частини подвійного електричного шару та міри дисоціації води. З урахуванням впливу температури поліном (9) трансформується до вигляду:

$$\Delta\varphi = a_0 \cdot \Delta p \cdot t^{0,206} + 0,622. \quad (11)$$



Ж – 850; ■ – 1000; ▲ – 1200; ● – 1400; ◆ – 1650 даПа  
первинний перетворювач зі скляними кульками,  $l = 57$  мм

**Рис. 6 – Вплив температури  $t$  на потенціал протікання  $\Delta\varphi$  розчину ДЕГ з вмістом води 0,05 ч. мас. за сталого перепаду тиску  $\Delta p$  на первинному перетворювачі**

Коефіцієнт  $a_0$  у рівнянні (11) залежить тільки від вмісту води в розчині ДЕГ (табл. 1), що дає можливість реалізувати зворотну задачу – за значенням коефіцієнта  $a_0$  кількісно оцінити вміст води в розчині ДЕГ. За результатами дослідів отримано:

$$x = 7,2583a_0 - 0,0554. \quad (12)$$

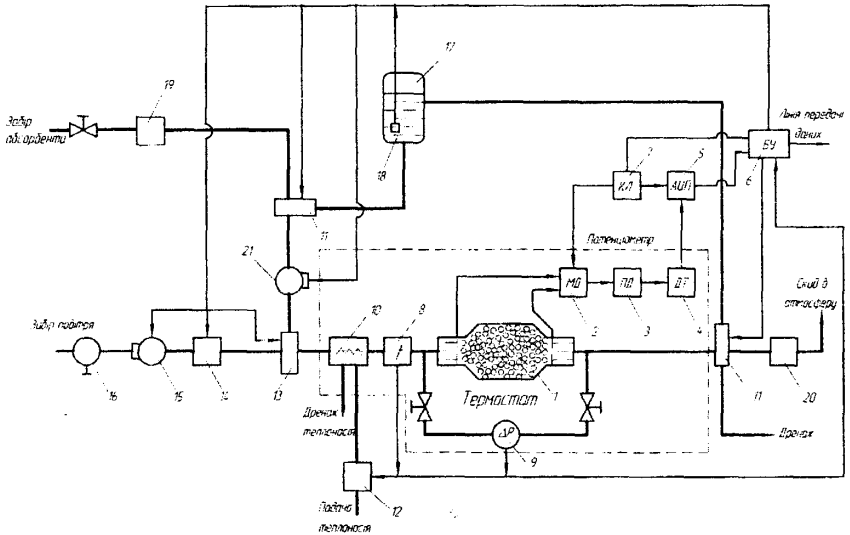
Виключивши  $a_0$  з рівняння (11), маємо:

$$x = (7,2583\Delta\varphi - 4,515) / (\Delta p \cdot t^{0,206}) - 0,0554. \quad (13)$$

Рівняння (12), (13) справедливі в межах зміни масової частки води в розчині ДЕГ від 0,01 до 0,1, температури розчину на ПП від 17 °С до 40 °С, перепаду тиску на ПП від 200 даПа до 1800 даПа.

Залежності (10)-(13) використані при розробленні ІВС для контролю якості абсорбентів в установках осушення природного газу.

**Четвертий розділ** присвячений питанням розроблення та промислової апробації ІВС контролю якості абсорбентів в установках осушення природного газу. Для розроблення промислового варіанта ІВС "Абсорбент-1" за базу взяті результати лабораторних досліджень та ті ж схемотехнічні рішення і підходи, що застосовувались для створення експериментальних стендів. З урахуванням вищенаведеного розроблена структурна схема ІВС (рис. 7), алгоритм її роботи та здійснений аналіз чинників, що впливають на невизначеність результатів контролю.



- 1 – первинний перетворювач потенціалу протікання; 2 – модулятор;  
 3 – підсилювач змінного струму; 4 – детектор; 5 – АЦП; 6 – блок управління;  
 7 – калібратор; 8 – первинний перетворювач температури;  
 9 – первинний перетворювач тиску диференційний; 10 – теплообмінник;  
 11 – вентиль керований трьохходовий; 12 – вентиль керований;  
 13 – вентиль керований двоходовий; 14 – осушувач повітря;  
 15 – компресор повітряний; 16 – фільтр повітряний;  
 17 – посудина з тестовою рідиною; 18 – первинний перетворювач рівня рідини;  
 19 – фільтр рідинний; 20 – адсорбер; 21 – насос циркуляційний

**Рис. 7 – Структурна схема інформаційно-виміральної системи для контролю якості (концентрації) абсорбентів**

Принцип роботи ІВС “Абсорбент-1” наступний. Контрольований абсорбент із технологічної лінії УОГ за допомогою циркуляційного насоса 21 подається на ПП 1. Для вимірювання потенціалу протікання використано потенціометр, побудований за принципом модуляції-демодуляції, що дозволило суттєво зменшити дрейф нуля. Визначення вмісту води в абсорбенті здійснюється за стабілізованої температури шляхом вимірювання потенціалу протікання на декількох фіксованих значеннях перепаду тиску на ПП 1, що вимірюється диференційним первинним перетворювачем тиску 9 і задається блоком управління 6, вентилями 11 і 13. Для підвищення точності вимірювання через певний проміжок часу ІВС калібрується за допомогою тестового розчину. Також у даній ІВС передбачені коректування дрейфу нуля потенціометра й АЦП за допомогою калібратора напруги 7.

Конструктивно ІВС “Абсорбент-1” розміщена в спеціалізованому пластиковому корпусі фірми Vorla (рис. 8), що дозволяє вмонтовувати цей корпус у стійки системи автоматизації технологічних процесів з 19-ти дюймовим виконанням за DIN IEC 297-3, або використовувати дану ІВС як лабораторний вимірювальний прилад.

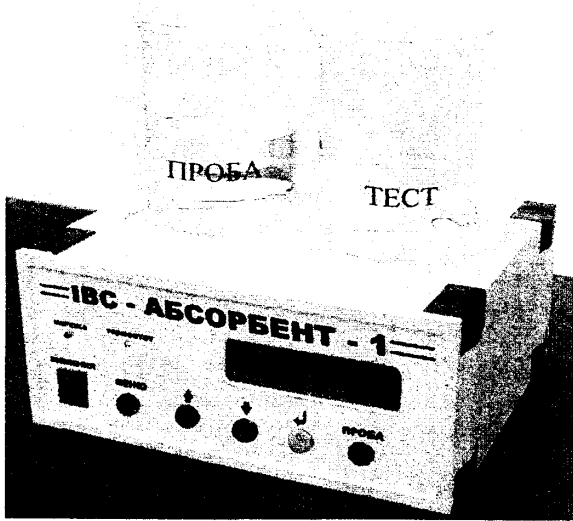


Рис. 8 – Загальний вигляд ІВС “Абсорбент-1”

Промислову апробацію розробленої експериментальної ІВС “Абсорбент-1” здійснено у виробничих умовах на базі установки осушення газу (УОГ) Богородчанського ВУПЗІ УМГ “Прикарпаттрансгаз” за узгодженими програмою і методикою. ДЕГ марки А (ГОСТ 10136-77) відбирався з технологічних трубопроводів УОГ. Покази експериментальної ІВС “Абсорбент-1” (середні значення за трьома вимірюваннями) та відповідні значення вмісту



ДЕГ у розчині, що паралельно визначалися карбідним методом та перегонкою, наведені в табл. 2. Результати апробації підтвердили відтворваність

**Таблиця 2 – Вміст води в технологічному розчині ДЕГ**

№	Вміст води в розчині диетиленгліколю, % масові					Примітка
	за показами ІВС	за карбідним методом	відхилення $\Delta x$	за методом перегонки	відхилення $\Delta x$	
1	0,9	0,85	0,05	0,7	0,2	рН=5,7-5,9 за період випробувань; температура термостатування 20 °С
2	2,8	2,82	-0,02	2,9	-0,1	
3	0,7	0,77	-0,07	0,4	0,3	
4	2,1	2,06	0,04	2,3	-0,2	
5	1,2	1,17	0,03	1,1	0,1	
6	3,1	3,1	0	3,2	-0,1	
7	1,0	1,03	-0,03	0,9	0,1	

показів ІВС. Розбіжність між показами ІВС та більш точним порівняно з перегонкою карбідним методом не перевищувала 0,07%, а відповідно похибка, приведена до діапазону вимірювань (0,7-3,1)% мас. води, склала 1,4%. Тривалість вимірювання вмісту води в розчині ДЕГ за допомогою ІВС “Абсорбент-1” становила приблизно одну хвилину (за трьома значеннями перепаду тиску на ПП), у той час коли один аналіз карбідним методом виконується протягом години, а перегонкою – від трьох до чотирьох годин, що в поєднанні з досягнутою точністю вимірювань позитивно характеризує ефективність нового методу експрес-контролю якості технологічних рідин.

На основі наведених у роботі досліджень та промислової апробації ІВС “Абсорбент-1” розроблено проект СОУ з експрес-контролю якості технологічних рідин нафтогазової та нафтохімічної промисловості.

## ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень вирішена важлива науково-практична задача в галузі методів та засобів контролю якості технологічних рідин – розроблений новий метод експрес-контролю якості (концентрації) технологічних рідин за електрокінетичним явищем – потенціалом протікання та технічний засіб (інформаційно-вимірювальна система) і одержано такі основні результати:

1. На основі аналізу сучасного стану існуючих методів та засобів контролю якості (концентрації) технологічних рідин, зокрема, для визначення вмісту води, встановлено, що, не дивлячись на широку гаму методів, вони є трудомісткими, або непридатними для експрес-контролю, що погіршує оперативне керування відповідними технологічними процесами.

2. У результаті проведених теоретичних досліджень розроблено математичну модель явища потенціалу протікання, встановлено взаємозв'язок між потенціалом протікання технологічної рідини та її концентрацією, одержана

залежність для розрахунку корекційного фактора, за якою визначаються основні геометричні характеристики ПП з урахуванням фізичних властивостей рідини для отримання усталених максимальних значень потенціалу протікання.

3. На основі розроблених фізичної (за патентами автора) і математичної моделей вперше запропоновано новий метод експрес-контролю якості (концентрації) технологічних рідин за потенціалом протікання цих рідин, що є комплексним, відрізняється лінійністю, дозволяє, при значеннях  $\Delta p / \Delta p \approx (10-100)$  мВ/кПа, достовірно визначати коливання вмісту води в технологічних рідинах на  $(0,05-0,1)\%$  мас. і може застосовуватись у широкому діапазоні зміни діелектричної проникності, електропровідності та в'язкості ньютонівських рідин.

4. За результатами експериментальних досліджень, виконаних за розробленою методикою на створених стендах, встановлено характер взаємозв'язку між показником якості – вмістом контролюваного компонента – води технологічного розчину ДЕГ і залежністю потенціалу протікання досліджуваного розчину від перепаду тиску на ПП та температури розчину в межах зміни вмісту води від 1 до 10% мас., отримано рівняння регресії для визначення концентрації води в розчині ДЕГ з довірчим рівнем імовірності 0,05, котре використано в процесі розроблення ІВС “Абсорбент-1”.

5. Вперше досліджено електрокінетичні характеристики сконструйованого ПП зі скляними кульками, який за значеннями потенціалу протікання в рівних умовах перевершив скляні пористу перегородку та прямі капіляри, що підвищило достовірність виконаних експериментальних досліджень.

6. Розроблено, виготовлено та здійснено промислово апробацію експериментальної ІВС “Абсорбент-1” на базі УОГ Богородчанського ВУПЗГ. Похибка, приведена до діапазону вимірювань  $(0,7-3,1 \%$  мас. води), у порівнянні з карбідним методом становить за період випробувань 1,4%, що доводить доцільність застосування розробленої ІВС з імовірністю 0,95 достовірності контролю якості (концентрації) технологічного розчину ДЕГ у системах абсорбційного осушення природного газу. Розроблено проєкт СОУ з експрес-контролю якості рідин, що використовуються в процесах нафтогазової та нафтохімічної промисловості.

### Список опублікованих праць

1. Козак О.Ф. Фізико-хімічні передумови створення методики і пристрою для визначення вмісту вологи в діетиленгліколі на установках підготовки природного газу / Козак О.Ф. // Методи та прилади контролю якості. – 2000. – № 5. – С. 104-106.

2. Козак О.Ф. Розробка методів експрес-контролю складу технологічних рідин / О.Ф.Козак, О.М.Карпаш // Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів (серія), вип. 11: Електромагнітний, ультразвуковий та оптичний неруйнівний контроль матеріалів: Зб. наук. праць. – Львів:

Фізико-механічний інститут ім. Г.В.Карпенка НАН України. – 2006. – С. 213-216.

3. Козак О.Ф. Експериментальні дослідження контролю якості технологічних рідин електрокінетичним методом / Козак О.Ф., Климишин Я.Д. // *Методи та прилади контролю якості*. – 2007. – № 18. – С. 79-82.

4. Козак О.Ф. Визначення основних геометричних параметрів капілярної системи для дослідного формування усталеного значення потенціалу протікання / О.Ф.Козак // *Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу*. – 2008. – №1 (17). – С. 109-114.

5. Інформаційно-вимірjuвальна система контролю якості абсорбентів в установках осушення природного газу / О.Ф.Козак, О.М.Карпаш, Я.Д.Климишин, А.В.Яворський // *Методи та прилади контролю якості*. – 2008. – № 20. – С. 70-74.

6. Козак О.Ф. Удосконалення контролю якості абсорбентів установок осушення природного газу / О.Ф.Козак // *Нафтогазова енергетика*. – 2008. – № 3(8). – С. 40-43.

7. Деклараційний патент 43684А, Україна, G01N27/00. Спосіб визначення концентрації полярних рідин і пристрій для його реалізації / Козак О.Ф.: заявник і власник патенту Івано-Франківський державний технічний університет нафти і газу. – № 2001053167; заявл. 14.05.2001; опубл. 17.12.2001, Бюл. № 11.

8. Патент на корисну модель № 25670, Україна, МПК (2006) G01N27/00. Пристрій для визначення концентрації полярних рідин у розчинах / Карпаш О.М., Козак О.Ф.; заявник і власник патенту Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – № u 2007 06279; заявл. 06.06.2007; опубл. 10.08.2007, Бюл. № 12.

9. Козак О.Ф. Контроль вологи в діетиленгліколі на установках підготовки природного газу / Козак О.Ф., Кісіль І.С. // Підвищення ефективності використання поверхнево-активних речовин в нафтогазовидобутку: наук.-техн. конф. і вист., 27-30 березня 2000 р.: матеріали конференції. – Івано-Франківськ: Факел. – 2000. – С. 129-131.

10. Козак О.Ф. Удосконалення контролю якості абсорбентів установок осушення природного газу / О.Ф.Козак // *Техніка і прогресивні технології в нафтогазовій інженерії: міжнар. наук.-техн. конф. молодих вчених, 15-20 вересня 2008 р., анотац. допов.* – Івано-Франківськ: Факел, 2008. – С. 47.

11. Козак О.Ф. Експрес-контроль якості технологічних рідин електрокінетичним методом / О.Ф.Козак, О.М.Карпаш // *Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики: 16-ая междунар. конф., 1-5 октября 2008 г.: матер. конф.* – Ялта-Киев: УИЦ “Наука. Техника. Технология”, 2008. – С. 31-32.

12. Козак О.Ф. Оцінка якості технологічних рідин за потенціалом протікання / О.Ф.Козак // *Нафтогазова енергетика: проблеми та перспективи: міжнар. наук.-техн. конф., 20-23 жовтня 2009 р.: анотац. допов.* – Івано-Франківськ: Факел, 2009. – С. 126.

## АНОТАЦІЯ

**Козак О.Ф. Розроблення методу експрес-контролю якості технологічних рідин за потенціалом протікання. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття вченого звання кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – Прилади і методи контролю та визначення складу речовин. – Національний університет “Львівська політехніка”, м. Львів, 2010.

Дисертація присвячена питанню контролю якості технологічних рідин електрокінетичним методом на основі явища потенціалу протікання. Досліджено та обґрунтовано можливість і доцільність використання потенціалу протікання рідини для експрес-контролю її складу. Розроблені фізичну та математичну моделі, які є науковою базою нового методу, що ґрунтується на лінійній залежності потенціалу протікання рідини від перепаду тиску на первинному перетворювачі потенціалу протікання (ПП). Експериментальним шляхом на розроблених лабораторних стендах підтверджені теоретичні висновки щодо запропонованого методу експрес-контролю якості технологічних рідин. Створений та досліджений ефективний ПП – циліндричний елемент зі скляними кульками. Встановлена залежність між вмістом води в технологічному розчині диетиленгліколю та функцією потенціалу протікання розчину від перепаду тиску на ПП. Розроблено та виготовлено взірць інформаційно-виміральної системи “Абсорбент-1” контролю якості абсорбентів на установках осушення природного газу. Проведена промислова апробація інформаційно-виміральної системи у виробничих умовах відповідно до розроблених програми та методики підтвердила, що отримані значення точності дозволяють застосувати розроблену систему для експрес-контролю визначення вмісту води в технологічному розчині диетиленгліколю. Розроблено проект СОУ експрес-контролю якості технологічних рідин нафтогазової та нафтохімічної промисловості за потенціалом протікання.

**Ключові слова:** потенціал протікання, первинний перетворювач, перепад тиску, технологічна рідина, інформаційно-вимірвальна система.

## АННОТАЦИЯ

**Козак А.Ф. Разработка метода экспресс-контроля качества технологических жидкостей на основе потенциала протекания. – Рукопись.**

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля и определения состава веществ. – Национальный университет “Львовская политехника”, г. Львов, 2010.

Диссертация посвящена вопросу контроля качества технологических жидкостей электрокинетическим методом на основе явления потенциала протекания. Решение этой проблемы повышает достоверность текущей информации о составе и качестве технологических жидкостей, содействует достижению оптимальных параметров и экономически выгодных производственно-технологических показателей режима эксплуатации ряда технологических процессов нефтегазовой отрасли.

Проведенный анализ используемых методов и средств контроля качества технологических жидкостей в нефтегазовой промышленности показал, что, несмотря на их достаточное количество, в частности для определения содержания воды в различных жидкостях, применяемые методы и средства или трудоёмкие и длительные, или непригодны для экспресс-контроля. Что касается новых методов, то здесь перспективным является использование возможностей электрокинетического явления потенциала протекания. На основании проведенного анализа рассматриваемой проблемы сформулированы цели и задачи диссертационной работы.

Для создания нового метода экспресс-контроля качества технологических жидкостей выполнен теоретический анализ строения двойного электрического слоя, разработаны физическая и математическая модели явления потенциала протекания. Предложенный в работе метод экспресс-контроля состава технологических жидкостей основан на полученной из математической модели явления линейной зависимости потенциала протекания жидкости от перепада давления на первичном преобразователе потенциала протекания (ПП). Метод отличается простотой, сочетает в себе элементы диэлектрического и кондуктометрического методов, может применяться в широком диапазоне изменения диэлектрической проницаемости, электропроводности, вязкости ньютоновских жидкостей, позволяет определять изменение содержания воды в технологической жидкости на  $(0,05 - 0,1)\%$  масс.

Опытным путём на разработанных лабораторных стендах подтверждены теоретические выводы относительно нового метода экспресс-контроля качества технологических жидкостей. Обоснованы условия достижения установившегося значения потенциала протекания для прямых капилляров как ПП. Создан и исследован эффективный ПП – цилиндрический элемент, наполненный стеклянными шариками. Определены зависимости потенциала протекания жидкости от перепада давления на ПП, температуры и состава исследуемой жидкости. Установлена зависимость между содержанием воды в технологическом растворе диэтиленгликоля и функцией потенциала протекания раствора от перепада давления на ПП. Дана оценка достоверности нового метода контроля.

На основании выполненных теоретических и лабораторных исследований разработан и изготовлен экспериментальный образец информационно-измерительной системы (ИИС) "Абсорбент-1" контроля качества абсорбентов на установках осушки природного газа. Предложены конструктивные решения ИИС "Абсорбент-1" в пластиковом корпусе фирмы Vorla как лабораторного измерительного прибора, так и элемента системы автоматизации установок осушки газа. Проведенная в соответствии с разработанными программой и методикой промышленная апробация данной ИИС на базе установок осушки природного газа Богородчанского производственного управления подземного хранения газа Управления магистральных газопроводов "Прикарпаттрансгаз" показала, что максимальное абсолютное расхождение измерения массового содержания воды в технологическом растворе

диэтиленгликоля составляет 0,07%, а погрешность, приведённая к диапазону измерений (0,7 – 3,1 % масс. воды), составляет за период испытаний 1,4% по сравнению с карбидным методом определения содержания воды. Достигнутые значения точности позволяют применять разработанную ИИС "Абсорбент-1" для контроля содержания воды в технологическом растворе диэтиленгликоля на установках осушки природного газа. С учётом достигнутых в работе результатов разработан и предложен проект стандарта организации Украины экспресс-контроля качества технологических жидкостей нефтегазовой и нефтехимической промышленности.

**Ключевые слова:** потенциал протекания, первичный преобразователь, перепад давления, технологическая жидкость, информационно-измерительная система.

### Abstract

**Kozak O.F. Development of method for express-control of process liquid quality according to the streaming potential. – Manuscript.**

Thesis on gaining of scientific degree of the candidate of technical sciences according to the major 05.11.13 – Devices and methods of control and determination of material composition. –National University "Lvivska politechnika", Lviv, 2010.

Thesis is devoted to the problem of quality control of process liquids by electrokinetic method on the basis of streaming potential phenomenon. The possibility and reasonability of liquid streaming potential application for express-control of liquid composition have been investigated and substantiated. Physical and mathematical models have been developed which are considered as a scientific basis of a new method based on the linear dependence of liquid streaming potential upon differential pressure at the sensing device of streaming potential (SP). With the help of experiments conducted on the developed laboratory benches, there have been confirmed the theoretical conclusions concerning the suggested method for the express-control of process liquid quality. Moreover, an effective SP - cylinder with glass balls was created and investigated. Dependence was determined between water content in the process solution of diethyleneglycol and function of the solution streaming potential from differential pressure on SP. Sample of information-measuring system "Absorbent-1" has been developed and produced to control absorbent quality in natural gas dewatering units. A conducted industrial approbation of the information-measuring system "Absorbent-1" in working conditions according to the developed program and method has confirmed that the received accuracy magnitudes permit to apply a developed system for express-control of water content determination in process solution of diethyleneglycol. A project of SOU (Standard of Organization in Ukraine) has been developed for express-control of absorbent quality of process liquids in oil and gas and petrochemical industries according to the streaming potential.

**Key words:** streaming potential, sensing device, differential pressure, process liquid, information-measuring system.