

УДК 622.243.272

В. М. ІВАСІВ; Р. В. РАЧКЕВИЧ; А. Р. ЮРИЧ; Л. Р. ЮРИЧ**ВИКОРИСТАННЯ ПРУЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ПРОЕКТНОГО ПРОФІЛЮ СВЕРДЛОВИНИ**

Мета роботи – створення технічних засобів і математичного апарату для забезпечення керування траєкторією свердловини. Для цього розроблені конструкції керованого відхильника і пружної муфти. Запропоновано методику розрахунку напружено-деформованого стану компоновки низу бурильної колони, до складу якої включено розроблені пристрої. Встановлено, що керовані відхильники і пружні муфти різної довжини і жорсткості, разом з режимними параметрами буріння, дають змогу в широких межах змінювати відхиляючу силу на долоті, а, отже, керувати траєкторією свердловини.

Ключові слова: буріння, профіль свердловини, компоновка низу бурильної колони, відхильвач, пружний елемент.

Вступ. Провідні зарубіжні центри енергетичних досліджень моделюють перспективу енергетики на 2035 та 2050 роки відштовхуючись від тенденцій першого десятиріччя XXI століття. На сьогодні енергетичний мікс світової економіки виглядає наступним чином: 33,6 % – нафта, 29,6 % – вугілля, 23,8 % – природний газ, 6,5 % – гідроенергія, 5,2 % – ядерна енергія, 1,3 % – відновлювальні джерела енергії разом узяті. Споживання палива карбон-гідрокарбонної групи – вугілля, нафти і газу – становило 83 % від загального обсягу енергоспоживання. За прогнозом адміністрації енергетичної інформації Міністерства енергетики США частка цієї групи палива у 2035 році становитиме 78 % [1]. Це є свідченням того, що інерційно-викопне паливо й надалі відіграватиме провідну роль у світовому енергетичному балансі.

На сьогодні в Україні частка власної вуглеводневої сировини від загальної потреби становить близько 10 % – для нафти та продуктів її переробки і 25 % – для газу. Тому важливим соціально-економічним завданням є нарощування обсягів видобутку вуглеводневої сировини. У зв'язку з розширенням експлуатації покладів вуглеводнів, зосереджених на родовищах з низькими фільтраційно-місткісними властивостями колекторів, зростають об'єми буріння похило-скерованих і горизонтальних свердловин, а також зарізки бокових стволів у законсервованих та малодобітних свердловинах [2-4].

Постановка проблеми. Одним із основних завдань, яке ставиться під час спрямованого буріння є дотримання параметрів проектного профілю. Актуальність проблеми керування рухом долота в процесі поглиблення свердловини обумовлена тим, що у випадку відхилення профілю від проектного часто виникають ускладнення та аварії, ліквідація яких призводить до непрогнозованих затрат часу та матеріальних ресурсів. Для вирішення даної задачі розроблені різноманітні високотехнологічні комплекси. Проте їх використання у поєднанні з вітчизняним буровим обладнанням ускладнюється низкою техніко-технологічних проблем, усунення яких можливе лише шляхом проведення модернізації бурових комплексів, зокрема системи очистки бурових розчинів, контролю їх реологічних параметрів, привідних систем бурових доліт, тощо. Крім того їх використання є неефективним та

кож з економічних міркувань, оскільки затрати на обладнання та інженерний супровід при виконанні робіт є суттєвими і за незначних дебітів свердловин довго-окупними. Тому розроблення та впровадження технічних засобів, які були б адаптовані до реалій промислового виробництва, є актуальним.

Існуючі методи вирішення проблеми. Для вирішення даного технологічного завдання застосовуються різноманітні способи та технічні засоби.

При використанні закономірностей природного викривлення на окремому родовищі буріння проектується і здійснюється на основі типових трас (профільів), побудованих за фактичними даними природного викривлення пробурених свердловин. Цей спосіб застосовується тільки на добре вивчених родовищах. У цьому випадку кривизною свердловин не керують, а лише пристосовуються до їх природного викривлення. Недолік зазначеного способу – здорожчання вартості свердловин внаслідок збільшення обсягів буріння. Необхідно також для кожного родовища за раніше пробуреними свердловинами визначати зони підвищеної інтенсивності викривлення і враховувати це при складанні проектного профілю.

Також здійснювати управління траєкторією свердловин можна шляхом застосування різних компонок низу бурильної колони (КНБК). У цьому випадку, змінюючи режим буріння і застосовуючи різні компонування бурильного інструменту, можна, з відомим наближенням, керувати напрямком стовбура свердловини. Цей спосіб дозволяє проходити свердловини в заданому напрямі, не вдаючись до спеціальних відхильвачів, але в той же час значно обмежує можливості форсованих режимів буріння. Складність керування процесом викривлення свердловини полягає ще й в тому, що фактичні умови роботи компоновки на вибої свердловини суттєво відрізняються від проектних.

Спрямоване відхилення свердловин засноване на застосуванні відхильників: кривих перевідників, ексцентричних ніпелів, відхиляючих клинів і спеціальних пристроїв. Вони умовно поділяються на три групи [5]: з малим радіусом викривлення 6...12 м (інтенсивність набору зенітного кута сягає до $10^\circ/1$ м), з середнім радіусом 90... 240 м (до $6,6^\circ/10$ м) з великим радіусом викривлення – 300 м і більше (не більше $2^\circ/10$ м). Основним недоліком цих пристроїв є фіксоване значення

кроку зміни кута перекоосу, яке, як правило, становить $0,5^\circ$ і не завжди забезпечує необхідну інтенсивність викривлення.

Одним з шляхів вирішення даної проблеми є використання компоновок низу бурильної колони з шарнірними відхилувачами і гнучкими ланками, що дають змогу керувати траєкторією свердловини шляхом зміни режимних параметрів буріння та жорсткісних характеристик її елементів.

Технічні засоби для керування траєкторією свердловини. Для набору зенітного кута з використанням КНБК на базі вибійних двигунів пропонується спеціальний пристрій – керований відхильник [6]. Його, з нульовим кутом перекоосу осей, встановлюють у КНБК над вибійним двигуном і спускають у свердловину. При досягненні долотом вибою свердловини створюють осьове навантаження, яке діє також і на відхильник. Цим зумовлюється зростання тиску в маслословній камері, що спричиняє до переходу відхильника в робоче (викривлене) положення. Величина кута перекоосу регулюється прикладеним зусиллям. Після завершення додання для повернення відхильника у транспортне положення необхідно зняти з нього навантаження, шляхом відриву долота від вибою. Під дією ваги вибійного двигуна відбувається перегікання масла в зворотному напрямі в камеру, і пристрій випрямляється.

В якості пружного елемента в практиці буріння використовуються звичайні бурильні труби із змінною або постійною жорсткістю [7], що встановлюються між елементами конструкції КНБК. Причому така гнучка ланка може бути виконано із плавною або ступінчастою змінною жорсткістю. Основним недоліком такої конструкції є ослаблення бурильної колони в місці встановлення гнучкої ланки. Крім того необхідно використовувати комплект труб різної довжини і жорсткості.

В якості гнучкої ланки авторами [8] запропоновано конструкцію пружної муфти, використання якої має ряд суттєвих переваг, а саме:

а) жорсткість муфти може підбиратися для конкретних умов буріння;

б) конструкція муфти дозволяє гасити поперечні коливання.

Випробовування конструкції пружної муфти на стенді показали достатньо високий опір втомі. Проте при промислових випробування відбулось промивання вузлів конструкції під дією великих перепадів тисків у свердловині. З метою ліквідації перелічених недоліків конструкцію було удосконалено [9] та виготовлено дослідний зразок (рис. 2). Удосконалення конструкції пристрою здійснено шляхом зменшення концентрації напружень та підвищення герметичності. Це дало змогу підвищити надійність роботи муфти, розширити її технологічні можливості за рахунок збільшення діапазону регулювання згинальної жорсткості, а також забезпечити герметичність.

Пристрій включається до складу бурильної колони для корегування проектною траєкторією свердловини, а також для зменшення згинальних напружень, які

виникають на викривлених або кавернозних ділянках стовбура свердловини. Навантаження, які діють на муфту в процесі її роботи, сприймаються корпусом. Для збільшення податливості пристрою на зовнішній поверхні корпусу виконані канавки, конфігурація яких близька до параболічної форми. При цьому, геометрію канавок, а також крок між ними вибирали на основі аналізу результатів комп'ютерного моделювання напружено-деформованого стану муфти з умов мінімально можливої згинальної жорсткості системи і забезпечення необхідної міцності. Регулювання згинальної жорсткості відбувається внаслідок стиснення пружного елемента поршнями.

З метою оцінки можливості використання розроблених технічних засобів для вирішення задач пов'язаних з керуванням траєкторії свердловини проведені аналітичні дослідження.

Аналітичні дослідження можливості використання розроблених технічних засобів. Для кожної секції КНБК складені рівняння, що відповідають розподіленому навантаженню по осі компоновки [10, 11].

$$EI_i \cdot \frac{d^4 y_i}{dx^4} + P \cdot \frac{d^2 y_i}{dx^2} = -q_i \cdot \sin(\alpha), \quad (1)$$

де q_i – вага погонного метра елемента КНБК; EI_i – жорсткість елемента КНБК на згин; P – осьове навантаження на долото; α – зенітний кут нахилу осі свердловини; $y_i(x)$ – функція прогинів пружної осі КНБК.

Записані для кожної секції диференціальні рівняння, вирішуються чисельним методом з урахуванням граничних умов (2).

$$\left\{ \begin{array}{l} y_1(0) = \delta; \\ y_1'(0) = 0; \\ y_1(l_1) = y_2(l_1); \\ y_1'(l_1) = y_2'(l_1); \\ y_1''(l_1) = y_2''(l_1); \\ y_1'''(l_1) = y_2'''(l_1); \\ y_2(l_1 + l_2) = \delta_1; \\ y_3(l_1 + l_2) = \delta_1; \\ y_3'(l_1 + l_2) = y_2'(l_1 + l_2) + tg(\alpha); \\ y_3''(l_1 + l_2) = y_2''(l_1 + l_2); \\ y_3(l_1 + l_2 + l_3) = y_4(l_1 + l_2 + l_3); \\ y_3'(l_1 + l_2 + l_3) = y_4'(l_1 + l_2 + l_3); \\ y_3''(l_1 + l_2 + l_3) = y_4''(l_1 + l_2 + l_3); \\ y_3'''(l_1 + l_2 + l_3) = y_4'''(l_1 + l_2 + l_3); \\ y_4(l_1 + l_2 + l_3 + l_4) = \delta_2; \\ y_4'(l_1 + l_2 + l_3 + l_4) = 0. \end{array} \right. \quad (2)$$

В результаті розв'язування отримують величину відхиляючої сили на долоті та будують графічні залежності впливу жорсткості гнучкої ланки на відхиляючу силу [12].

Аналітичні дослідження впливу жорсткості та довжини гнучкої ланки на відхиляюче зусилля на долоті проводилось для КНБК, яка складається з долота діаметром 269 мм, гідравлічного двигуна ДГ-172,

пружної муфти, керованого відхилювача та ОБТЗ1-178 (рис. 1), за кутів перекосу відхилювача (α) 1° і $1,5^\circ$ та осевого навантаження 100 кН.

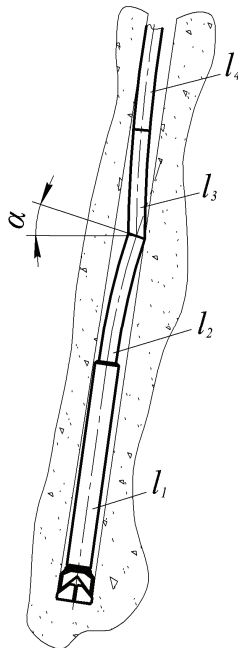


Рисунок 1 – Схема конструкцій КНБК

За результатами проведених досліджень побудовані залежності впливу жорсткості та довжини пружної муфти на відхиляюче зусилля на долоті (рис. 2).

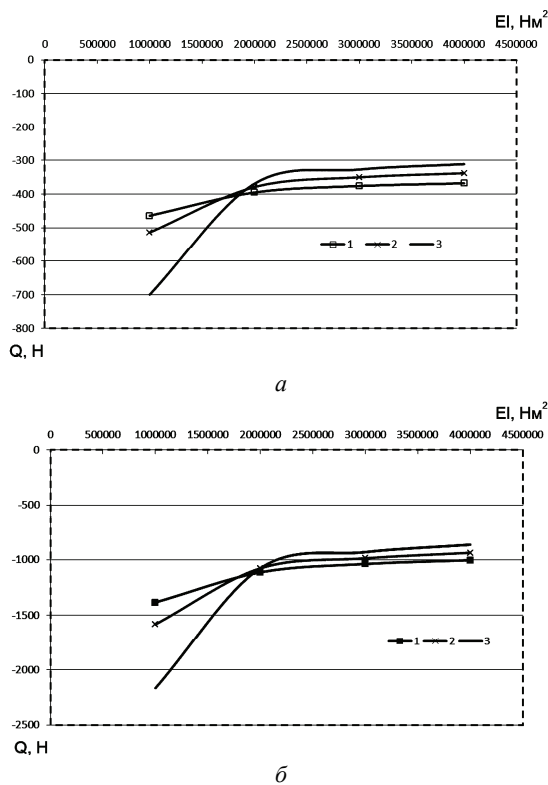


Рисунок 2 – Вплив жорсткості та довжин пружної муфти на відхиляюче зусилля на долоті: а – кут перекосу відхилювача 1° ; б – кут перекосу відхилювача $1,5^\circ$; 1 – довжина пружної муфти 4 м; 2 – довжина пружної муфти 5 м; 3 – довжина пружної муфти 6 м

Як бачимо за кута перекосу кривого перевідника 1° (рис. 2, а) при довжині пружної ланки 4 м, збільшення її жорсткості з $1 \text{ кН}\cdot\text{м}^2$ до $4 \text{ кН}\cdot\text{м}^2$, дає змогу зменшити відхиляючу силу на долоті майже на 25 % ($\Delta Q \approx 100 \text{ Н}$). При використанні пружних ланок більшої довжини спостерігається зменшення відхиляючої сили на 52 % ($L = 5 \text{ м}$) та 125 % ($L = 6 \text{ м}$), що становить $\Delta Q \approx 180 \text{ Н}$ та $\Delta Q \approx 390 \text{ Н}$ відповідно.

За кута перекосу кривого перевідника у $1,5^\circ$ (рис. 2, б) значення зміни відхиляючої сили зростають і становлять $\Delta Q \approx 380 \text{ Н}$ (27 %), $\Delta Q \approx 650 \text{ Н}$ (40 %), $\Delta Q \approx 1300 \text{ Н}$ (60 %) відповідно.

Варто відзначити, що, згідно із рис. 4, відхиляюча сила більш чутлива до зміни жорсткості пружного елемента в межах початку діапазону жорсткостей, що є характерним для всіх без виключення залежностей.

Висновки. В результаті досліджень встановлено, що використання пружних ланок невеликої довжини (менші ніж 4 м) не дає змоги широко регулювати величину бокового відхиляючого зусилля.

Використання пружних муфт різної довжини та жорсткості, разом із зміною режимних параметрів буріння дозволяє в широких межах змінювати відхиляюче зусилля на долоті, а отже керувати траєкторією свердловини.

Вважаємо, що запропоновані теоретичні основи та технічні засоби можуть бути рекомендовані до впровадження на бурових підприємствах з метою промислової апробації.

Список літератури: 1. EIA Releases New Energy Forecast: Fossil Fuels Still Reign in 2035, December, 2010 – <http://instituteeforenergyresearch.org/analysis/eia-releases-new-energy-forecast-fossil-fuels-still-reign-in-2035/>.

2. Використання горизонтальних свердловин для розробки родовищ з важковидобувними запасами вуглеводнів: збірник наукових праць науково-практичної конференції «Стан і перспективи розробки родовищ нафти і газу України – 2003», [Івано-Франківськ], 18-21 листопада 2003 р. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. – 2003. – 303 с. 3. Збільшення обсягів похило-спрямованого та горизонтального буріння – значний резерв підвищення ефективності видобування вуглеводнів та ступеня їх вилучення: Збірник наукових праць науково-практичної конференції «Стан і перспективи розробки родовищ нафти і газу України – 2003», [Івано-Франківськ], 18-21 листопада 2003р.–Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. – 2003. – 303 с. 4. Restimulating Horizontal Oil Wells – Success and Failure / M. Vincent- http://www.searchanddiscovery.com/documents/2015/80446vincent/ndx_vincent.pdf. 5. Буслаєв В.Ф. Бурение наклонно направленных скважин роторным способом / В.Ф. Буслаєв, А.И. Плетников // Обзор. информ. / ВНИИОЭНГ. Сер. «Бурение». Вып. 6. – М.: 1986. 6. Пат. України 18147, МПК7 E21 В7/04. Керований відхилювач / В. М. Івасів, М. В. Василів, А. А. Козлов, М. П. Олексюк, І. І. Чудик; заявник і патентовласник Івано-Франківський нац. техн. ун-т нафти і газу. – № 200607355; заявл. 03.07.2006; опубл. 16.10.2006, Бюл. № 10. – 4 с. 7. Устройство для направленного бурения / Ю.М. Гержберг, В.Д. Чарков, Т.Г. Старцева – заявл. 25.05.87. Опубл. Бюл. №21. 8. А.с. №1401128 СССР, МКИ E21 В 17/07. Упругая муфта. / С.В. Величкович, В.М. Івасів, Б.А. Вацьк, З.В. Бильй, П.В. Тарабарин (СССР). – № 4047682/22-03; заявл. 10.02.86; опубл. 07.06.88, Бюл. № 21. 9. Пат. 62165 Україна,

МПК E21B 7/08. Пружна муфта бурильної колони / Івасів В. М., Гриців В. В., Ногац М. М., Рачкевич Р. В., Козлов А. А.; патентовласник Івано-Франківський нац. техн. ун-т нафти і газу. – № 102372; заявл. 28.02.2011; опубл. 10.08.2011, Бюл. № 15. – 4 с. **10.** Юрич А. Р. Математичне моделювання положення безопорних компоновок низу бурильної колони (КНБК) в похило-скерованому стовбурі свердловини / А. Р. Юрич // Розвідка та розробка нафтових та газових родовищ. – 2008. – № 1 (26). – С.40-43. **11.** Моделювання компоновок низу бурильної колони з опорно-центруючими елементами (ОЦЕ) в похило-скерованому стовбурі свердловини / А. Р. Юрич, І. І. Чудик, В. В. Гриців, Р. В. Рачкевич, А. А. Козлов // Розвідка та розробка нафтових та газових родовищ. – 2008. – № 2 (27). – С. 51-55. **12.** Козлов А. А. Визначення відхиляючого зусилля на долоті в компоновці низу бурильної колони з керованим перехідником / А. А. Козлов // Розвідка та розробка нафтових та газових родовищ. – 2010. – № 1 (34). – С.61-63.

Bibliography (transliterated): **1.** EIA Releases New Energy Forecast: Fossil Fuels Still Reign in 2035, December, 2010. <http://instituteofenergyresearch.org/analysis/eia-releases-new-energy-forecast-fossil-fuels-still-reign-in-2035/>. **2.** Vykorystannya horyzontalnykh sverdlodyn dlya rozrobky rodovyshch z vazhkovydobuvnymy zapasamy vuhlevodniv: zbirnyk naukovykh prats naukovo-praktychnoyi konferentsiyi «Stan i perspektyvy rozrobky rodovyshch nafty i hazu Ukrainy – 2003», 18-21 lystopada 2003. Ivano-Frankivsk: IFNTUNH. 2003. 303 Print. **3.** Zbilshennya obsyahiv pokhylo-spryamovanooho ta horyzontalnoho burinnya – znachnyy rezerv pidvyshchennya efektyvnosti vydobuvannya vuhlevodniv ta stupenya yikh vyluchennya. Zbirnyk naukovykh prats naukovo-praktychnoyi konferentsiyi «Stan i perspektyvy rozrobky rodovyshch nafty i hazu Ukrainy – 2003», 18-21 lystopada 2003. Ivano-Frankivsk: IFNTUNH. 2003.303 Print. **4.** Restimulating Horizontal Oil Wells – Success and Failure / M. Vincent

http://www.searchanddiscovery.com/documents/2015/80446vincent/ndx_vincent.pdf. **5.** Buslaev V.F., Pletnykov A.Y. Burenye naklonno napravlennykh skvazhyn rotornym sposobom. Obzor. inform. VNYOENH. Ser. «Burenye». Vol. 6. M.: 1986 Print. **6.** Pat. Ukrainy 18147, MPK7 E21 V7/04. Kerovanny vidkhylnykh. V. M. Ivasiv, M. V. Vasylyv, A. A. Kozlov, M. P. Oleksyuk, I. I. Chudyk; zayavnyk i patentovlasnyk Ivano-Frankivskyy nats. tekhn. un-tet nafty i hazu. № 200607355; zayavl. 03.07.2006; opubl. 16.10.2006, Byul. № 10. 4 Print. **7.** Ustroystvo dlya napravlennoho burenyya. Yu.M. Herzherh, V.D. Charkov, T.H. Startseva. zayavl. 25.05.87. Opubl. Byul. No 21. **8.** A.s. No 1401128 SSSR, MKY E21 V 17/07. Upruhaya mufta. S.V. Velychkovych, V.M. Yvasyv, B.A. Vatsyk, Z.V. Bylyy, P.V. Tarabarynov (SSSR). No 4047682/22-03; zayavl. 10.02.86; opubl. 07.06.88, Byul. No 21 Print. **9.** Pat. 62165 Ukrainy, MPK E21V 7/08. Pruzhna mufta burylnoyi kolony. Ivasiv V. M., Hrytsiv V. V., Nohach M. M., Rachkevych R.V., Kozlov A. A.; patentovlasnyk Ivano-Frankivskyy natsionalnyy tekhnichnyy universytete nafty i hazu. No u 2011 02372; zayavl. 28.02.2011; opub. 10.08.2011. Byul. No 15. 4 Print. **10.** Yurych A.R. Matematychno modelyuvannya polozhennya bezopornykh komponovok nyzu burylnoyi kolony (КНБК) v pokhylo-skerovanomu stovburi sverdlovyny. A. R. Yurych. Rozvidka ta rozrobka naftovykh ta hazovykh rodovyshch. 2008. No 1(26). 40-43 Print. **11.** Modelyuvannya komponovok nyzu burylnoyi kolony z oporno-tsentruyuchymy elementamy (OTsE) v pokhylo-skerovanomu stovburi sverdlovyny. A.R. Yurych, I.I. Chudyk, V.V. Hrytsiv, R.V. Rachkevych, A.A. Kozlov. Rozvidka ta rozrobka naftovykh ta hazovykh rodovyshch. 2008. No 2(27). 51-55 Print. **12.** Kozlov A. A. Vyznachennya vidkhylyayuchoho zusylyya na doloti v komponovtsi nyzu burylnoyi kolony z kerovanyim perekhidnykom. A.A. Kozlov. Rozvidka ta rozrobka naftovykh ta hazovykh rodovyshch. 2010. No 1(34). 61-63 Print.

Надійшла (received) 10.11.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Івасів Василь Михайлович – доктор технічних наук, професор, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, кафедра нафтогазового обладнання; тел. 097-70-97-592; e-mail: ivasivvm@rambler.ru.

Івасів Василь Михайлович – Doctor of Technical Sciences, Professor, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Department of Oil and Gas Equipment; tel. 097-70-97-592; e-mail: ivasivvm@rambler.ru.

Рачкевич Руслан Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, кафедра механіки машин; тел. 066-293-59-61; e-mail: foxman@ukr.net.

Рачкевич Руслан Володимирович – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Department of Mechanical Machines; tel. 066-293-59-61; e-mail: foxman@ukr.net.

Юрич Андрій Романович – кандидат технічних наук, доцент, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, кафедра буріння нафтових і газових свердловин; тел. 066-343-43-11; e-mail: a.r.yurych@gmail.ru.

Юрич Андрій Романович – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Department of Oil and Gas Well Drilling Engineering; tel. 066-343-43-11; e-mail: a.r.yurych@gmail.ru.

Юрич Лідія Романівна – аспірант, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, кафедра нафтогазового обладнання; тел. 050-935-01-97; e-mail: lidusiau@ukr.net.

Юрич Лідія Романівна – Postgraduate Student, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Department of oil and gas equipment; tel. 050-935-01-97; e-mail: lidusiau@ukr.net.