

УДК 622.691

В. Б. Запужляк,

к. т. н., доцент кафедри спорудження та ремонту газонафтопроводів і газонафтоосховищ,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ПРОВЕДЕННЯ РЕМОНТНИХ РОБІТ НА ДІЮЧИХ ГАЗОПРОВОДАХ

V. B. Zapukhlyak,

PhD, associate professor of the department of construction and repair of oil and gas pipelines and storage facilities,
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk

ECONOMICAL AND TECHNICAL ASPECTS OF PROVIDING THE REPAIR OF OPERATING GAS PIPELINES

Економія коштів при виконанні ремонтних робіт на магістральних трубопроводах тісно пов'язані з технікою та технологією, що при цьому використовується. На сьогодні найбільш економічним вважається ремонт на діючих трубопроводах, що не потребують зупинки перекачування продукту, а супроводжуються тільки зниженням тиску в трубі. В статті розглянуто технічні підходи, щодо ремонту працюючих трубопроводів, які дозволяють знизити затрати на проведення робіт. Приведено розрахунок затрат на виконання ремонтних робіт із застосуванням безвогневого врізання при різних значеннях тиску в трубопроводі та зроблені відповідні висновки.

Cost effectiveness at providing the repair works on main pipelines is closely related to the technique and technology that is used. For today a most economic repair is considered on operating pipelines, that does not require the stop of transportation of product, but accompanied only by the lowering of the pressure in a pipe. Technical approaches are considered in the article, in relation to repair of operating pipelines that allow reducing expenses on providing the works. The calculation of expenses to implementation of repair works with application of the hot tapping at the different values of pressure in a pipeline are represented and the corresponding conclusions are done.

Ключові слова: трубопровід, ремонт, безвогневе врізання, внутрішній тиск, економічний ефект.

Keywords: pipeline, repair, hot tapping, intrinsic pressure, economic effect.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Газотранспортна система є однією із стратегічних галузей промисловості України. Завдяки своєму географічному розташуванню Україна є надзвичайно важливою країною транзиту енергоресурсів до Європи, що є важливим видом економічної діяльності, джерелом бюджетних надходжень і гарантією постачання енергії до країни. Україна виступає в якості ланки між основними видобувними регіонами на схід від України і між Європейськими споживачами на заході від України. Отже, інфраструктура транспорту газу є ключовим стратегічним активом для України.

Проте, існуюча система газопроводів знаходиться в експлуатації в середньому від 20 до 42 років, в залежності від терміну введення в дію її складових. ГТС має у своєму складі 59,43 % газопроводів з терміном експлуатації від 15 до 50 років, 5,8 тис. км (що складає 17,27 %) газопроводів відпрацювали свій амортизаційний термін – 33 роки, а 13,66 % до вказаної границі залишилось менше 10 років. Отже, 30,33 % газопроводів від загальної їх протяжності вичерпали свій ресурс і застаріли морально.

Саме тому, на даному етапі розвитку нафтогазового комплексу України, актуальними є питання, що стосуються забезпечення надійної та безперебійної роботи газотранспортної системи.

Підвищення надійності експлуатації і обслуговування газопроводів для забезпечення нормального безаварійного їх функціонування досягається за рахунок постійного виконання комплексу робіт, основними з яких є проведення планово-попереджувальних та капітальних ремонтів.

Капітальний ремонт лінійної частини магістральних трубопроводів полягає в заміні старої і дефектної ізоляції, у відновленні пошкодженої корозією стінки труби або повній заміні дефектної ділянки. Причому, найбільш економічним та ефективним ремонтом є ремонт без зупинки транспортування продукту. Насамперед це пов'язано з тим, що ремонт без зупинки експлуатації дозволяє виключити втрати продуктивності. Споживач в цьому випадку не переживає ніяких незручностей, а також при такому способі ремонту відсутні витрати на стравлювання та збір (для нафтопроводів) продукту. Традиційні ж методи ремонту призводять до додаткових витрат на випорожнення трубопроводу і збір нафтопродукту, а також тягнуть непоправні втрати для екології при забрудненні довкілля.

З технологічної сторони, найбільш складним видом ремонту без зупинки транспортування продукту є ремонт, який потребує заміни ділянки трубопроводу. Тому будемо розглядати саме такий спосіб.

Суть ремонту із заміною труби без зупинки перекачування продукту полягає в наступному:

- на всій довжині ремонтваної ділянки, паралельно діючому трубопроводу прокладають нову нитку того ж діаметру;
- після прокладання нової нитки в діючий трубопровід врізають нову прокладену нитку трубопроводу, методом безвогневого врізання.

При проведенні такого ремонту одним із найвідповідальніших є процес безвогневого врізання в діючий трубопровід, який зазвичай виконують за наступною схемою: до трубопроводу приварюється патрубок з фланцем до якого прикріплено кран; на кран кріпиться пристрій для врізання з шпинделем і фрезою, за допомогою якого проводять вирізання отвору в трубопроводі; після виконання врізання шпиндель з фрезою виводиться за межі крана, останній закривають, а пристрій демонтують. [1]

Зрозуміло, що такий спосіб ремонту дозволяє отримати певний економічний ефект в порівнянні з традиційними, а який саме – попробуємо встановити.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Відомо, що економічний ефект від застосування технології врізання і перекриття в порівнянні з традиційними технологіями, зокрема для нафтопроводів, може обчислюватися мільйонами гривень і складати понад 80 відсотків від затрат на ремонт традиційними способами. Основну долю такого ефекту складає

економія коштів за рахунок відсутності потреби випорожнювати трубопровід. [2]

Для газопроводів економічні витрати на такий вид ремонту будуть напряму пов'язані з необхідністю зниження тиску в трубопроводі при проведенні зварювальних робіт, оскільки при цьому відбувається стравлювання газу в атмосферу. Отже, зрозуміло, що економічний ефект буде залежати від того, при якому допустимому тиску буде проводитися ремонт.

Для встановлення допустимого тиску необхідно теоретично досліджувати розподіл температури в стінці діючого трубопроводу при зварюванні та вирішувати задачу термопружності.

Розподілом температури в металі при зварюванні займалися такі провідні вчені як В. С. Бут, А. Е. Недосека, Ю. Г. Гаген, Я. С. Подстригач, Ю. М. Коляно, А. В. Василик і ін. [3; 4; 5; 6; 7]

Метою статті є визначення величини економічного ефекту від застосування безвогневого врізання на діючих газопроводах при їх ремонті без зупинки перекачування продукту. Для її досягнення проведено критичний аналіз існуючих наукових підходів до встановлення допустимого тиску при якому проводиться приварювання відводу і який залежить від розподілу температури зварювальної дуги в стінці газопроводу. Та проведено порівняння економії коштів в залежності від використання того чи іншого підходу для розрахунку.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо два способи визначення допустимого тиску в трубопроводі при проведенні зварювальних робіт на газопроводі під тиском і назовемо їх умовно: базовий і альтернативний. При цьому розрахунок виконаємо для трубопроводу діаметр якого 529 міліметрів, товщина стінки 10 міліметрів.

При базовому способі [8] максимально допустимий робочий тиск на ділянці газопроводу при проведенні робіт зі зварювання вузла врізання $P_{доп}$ не повинен перевищувати

$$P_{доп} = \frac{2 \cdot k \cdot \sigma_m (\delta - c)}{D_3} \quad (1)$$

де k – коефіцієнт, що приймається залежно від категорії ділянки

рівним: 0,72 для III-IV категорії; 0,6 для I-II категорії, 0,5 для категорії B; σ_m – границя текучості металу труби газопроводу, що приймається за технічними умовами на труби, МПа; δ – фактична товщина стінки труби в місці приварки (за результатами вимірювання), мм; c – поправочний коефіцієнт, що враховує втрату міцності нагрітого металу,

$c = 2,4$ мм; D_3 – зовнішній діаметр труби в місці приварки (за результатами вимірювання), мм.

Розрахунок будемо проводити для найсприятливіших умов проведення робіт, при яких очікуваний економічний ефект буде мінімальним. За нашими підрахунками в діапазоні фактичних товщин стінок (4,5-10) мм допустимий тиск повинен становити від 1,5 МПа до 3,8 МПа.

Тепер визначимо допустимий тиск при виконанні зварювання за альтернативним способом.

Теоретичний аналіз існуючих наукових підходів [3; 4; 5; 6; 7] дозволив провести математичне моделювання нестационарного процесу розповсюдження тепла в стінці трубопроводу, викликаного точковим джерелом тепла, що рухається по колу і отримати рівняння

$$\Delta T - \chi^2 (T - t_c) = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial \tau} - \frac{q}{\lambda r} \delta (r - r_0) \delta(\varphi - \omega \tau) \quad (2)$$

рішення якого дозволить встановити залежність температури від трьох змінних: радіусу, кута повороту джерела і часу (в полярній системі координат).

Задаючись початковою та граничними умовами поставлену задачу (2) розв'язуємо, користуючись перетвореннями Фур'є та Хенкеля. Пізніше провівши обернене перетворення зображення в оригінал отримемо розв'язок [9]

$$T = \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ a \cos n(\varphi - \omega \tau) \int_0^{\infty} \frac{p(p^2 + \chi^2) J_n(pr_0) J_n(pr)}{a^2(p^2 + \chi^2)^2 + n^2 \omega^2} dp - n \omega \sin n(\varphi - \omega \tau) \int_0^{\infty} \frac{p J_n(pr_0) J_n(pr)}{a^2(p^2 + \chi^2)^2 + n^2 \omega^2} dp \right\} - e^{-\alpha^2 \tau} \left\{ a \cos n \varphi \int_0^{\infty} \frac{p(p^2 + \chi^2) J_n(pr_0) J_n(pr)}{a^2(p^2 + \chi^2)^2 + n^2 \omega^2} e^{-\alpha^2 \tau} dp - n \omega \sin n \varphi \int_0^{\infty} \frac{p J_n(pr_0) J_n(pr)}{a^2(p^2 + \chi^2)^2 + n^2 \omega^2} e^{-\alpha^2 \tau} dp \right\} \quad (3)$$

Створення даної математичної моделі процесу нестационарного розподілу тепла в стінці труби від точкового джерела, що рухається по колу, з врахуванням теплообміну з навколишнім середовищем та продуктом, що рухається в трубопроводі, дало змогу одержати розв'язок, графічне зображення якого показано на рисунку 1. Як видно з графіків, миттєва температура стінки труби може перевищувати 550 °С, проте з плином часу вона швидко знижується, і через 120 секунд складає 150 °С, а після 360 секунд спадає практично до початкового значення. Таким чином, процес нагрівання триває 2-3 хв. з наступним охолодженням протягом 6-8 хв. Зауважимо, що максимальна миттєва температура залежить від потужності теплового джерела і спостерігається в околі дії зварювальної дуги, а тривалість процесу визначається теплофізичними характеристиками трубної сталі, швидкістю руху джерела та витратою продукту в трубопроводі та його властивостями.

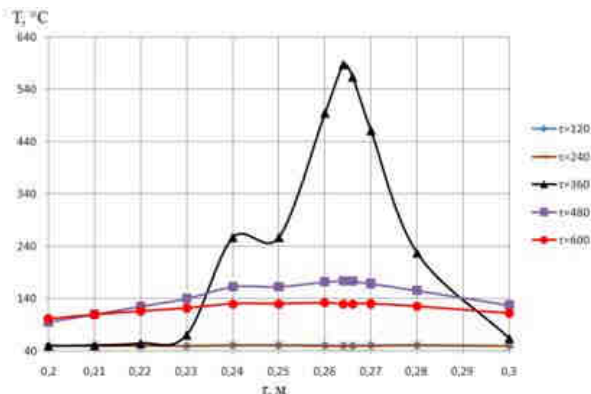


Рис. 1. Залежність температури стінки труби, до якої приварюється патрубков, від радіусу r (м) для різних значень часу τ (с)

Визначення напружень термопружності в стінці труби проводилось за таких припущень:

- матеріал труби "працює" в зоні прямої пропорційності (закон Гука);
- зона термовпливу представляється у вигляді балки із защемленням кінців;
- поле термонапружень змінюється в часі відповідно зміні температури;
- напруження від внутрішнього тиску в трубопроводі є сталими і не залежать від температурного впливу.

Об'єднуючи результати розподілу температур по поверхні труби і залежності механічних характеристик сталі від температури, можна побудувати розподіл

механічних характеристик (модуля пружності і межі плинності) по поверхні труби. Такі залежності зображені на рисунку 2.

Використовуючи залежність модуля пружності по поверхні труби, можна знайти напруження в стінці, що виникають від дії температур

$$\sigma_T = \alpha_t \cdot \Delta t \cdot E(t) \quad (4)$$

Напруження від внутрішнього тиску трубопроводу не залежать від температури впливу і можуть бути знайдені з залежності

$$\sigma_p = \frac{p \cdot d}{2\delta} \quad (5)$$

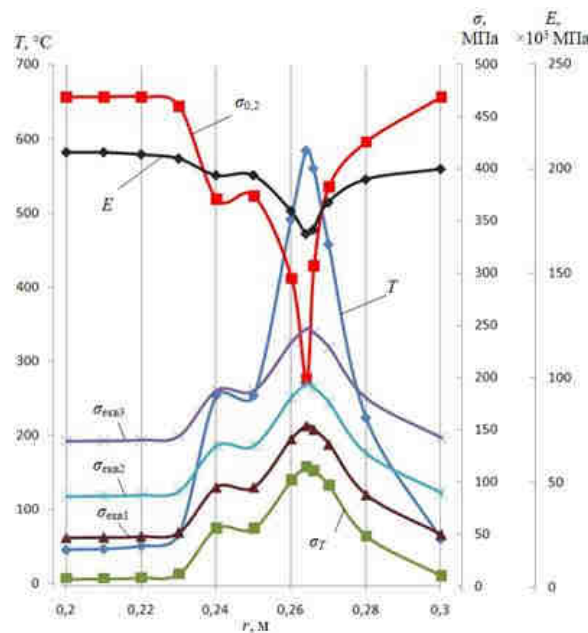
де p – внутрішній тиск; d , δ – внутрішній діаметр і товщина стінки трубопроводу.

Еквівалентні напруження від дії внутрішнього тиску і температурного поля можуть бути визначені шляхом сумування.

Таким чином, можна побудувати розподіл еквівалентних напружень в стінці трубопроводу по поверхні труби в залежності від внутрішнього тиску.

Якщо екстремальні еквівалентні напруження в стінці труби не перевищуватимуть межі плинності трубною сталі за максимальної температури, то матеріал працюватиме в межах пружності і руйнування не відбудеться. Таким чином, можна вибрати критичний тиск в трубопроводі, перевищення якого призведе до плинності трубною сталі і можливої при цьому аварії.

На рисунку 2 зображені криві розподілу еквівалентних напружень в стінці труби діаметром 529 мм і товщиною стінки 10 мм із сталі 14Г2АФ і зміну напружень межі плинності цієї сталі від температури. Аналіз графіків свідчить, що, враховуючи запас міцності, можна прийняти допустимий тиск в газопроводі не вище 4,5 МПа. [10]



$\sigma_{екв1}$ – сумарні еквівалентні напруження в стінці труби при $p = 1,5$ МПа; $\sigma_{екв2}$ – те ж при $p = 3$ МПа; $\sigma_{екв3}$ – те ж при $p = 5$ МПа

Рис. 2. Розподіл напружень в стінці труби та залежність механічних властивостей сталі 14Г2АФ від температури

Аналізуючи проведені розрахунки бачимо, що при базовому методі розрахунку допустимий тиск для зварювання повинен складати $P_{дон}^B = 3,8$ МПа, а при альтернативному, що запропонований автором, – $P_{дон}^A = 4,5$ МПа. Різниця між цими величинами в перерахунку на об'єм стравленого газу і на його вартість буде складати економічний ефект від застосування альтернативного підходу до розрахунку допустимого тиску при приварюванні патрубків-відводу по відношенню до базового.

Приблизно, для нашого випадку, економічний ефект можна визначити за формулою

$$E = \left(\frac{P_{дон}^A}{z_A} - \frac{P_{дон}^B}{z_B} \right) \cdot \frac{V}{R \cdot T \cdot \rho_2} \cdot B_2 \quad (6)$$

де z_A , z_B – коефіцієнти стисливості газу відповідно при тиску $P_{дон}^A$ та $P_{дон}^B$; V – об'єм трубопроводу з якого проводиться стравлювання з метою пониження тиску; R – газова стала; T – температура газу; ρ_2 – густина газу при стандартних умовах; B_2 – вартість газу (станом на сьогодні $B_2 = 5,43$ грн/м³).

Провівши розрахунок для умов, які найменше сприяють отриманню економічного ефекту, встановлено, що проведення зварювальних робіт на трубопроводі діаметром 529 мм при тиску 4,5 МПа у порівнянні з роботами при тиску 3,8 МПа, дозволить зекономити $E = 252,783$ тис. грн.

Проведемо аналогічні розрахунки для інших діаметрів магістральних газопроводів і результат зведемо у таблицю 1.

Таблиця 1.
Результати розрахунку економічного ефекту від застосування альтернативного методу розрахунку допустимого тиску в газопроводі для виконання зварювальних робіт, в порівнянні з базовим

Діаметр трубопроводу, мм	$P_{дон}^A$, МПа	$P_{дон}^B$, МПа	Об'єм втраченого газу через різницю тисків, м ³	E , тис. грн.
529	4,5	3,8	46945	254,911
720	4,7	3,8	115726	628,390
820	5,3	4,2	183676	997,359
1020	5,1	4,8	82946	450,398
1220	4,8	4,0	294262	1597,840
1420	4,6	3,9	327264	1777,044

Визначимо економічний ефект від застосування ремонту без зупинки перекачування продукту, при розрахунку допустимого тиску за альтернативним способом, порівняно з традиційним способом ремонту, при якому ділянка, що ремонтується – випорожнюється

$$E = \frac{F_{доп}^A \cdot V}{z_A \cdot R \cdot T \cdot \rho_2} \cdot B_2 \quad (7)$$

Результат проведених розрахунків зведемо в таблицю 2.

Таблиця 2.

Результати розрахунку економічного ефекту від застосування ремонту без зупинки перекачування продукту, при розрахунку допустимого тиску за альтернативним способом, порівняно з традиційним способом ремонту

Діаметр трубопроводу, мм	$P_{доп}^A$, МПа	Об'єм втраченого газу при повному випорожненні, м ³	Об'єм втраченого газу через різницю тисків, м ³	E, тис. грн.
529	4,5	419557	140039	1517,783
720	4,7	933871	379634	3009,506
820	5,3	1207582	390136	4438,735
1020	5,1	2004431	797220	6555,156
1220	4,8	2898079	1264660	8869,465
1420	4,6	4221633	2105170	11492,399

Висновки. Як видно з приведених розрахунків економічний ефект від застосування ремонту без зупинки перекачування продукту порівняно з традиційним способом ремонту в залежності від діаметру газопроводу коливається в межах від 1,5 до 11,5 млн. грн.

Також встановлено, що надмірне зниження тиску в магістральному газопроводі під час виконання зварювально-ремонтних робіт на ньому призводить до значних економічних втрат, які можуть складати від 250 тис. грн до майже 2 млн. грн.

Слід відмітити, що розрахунки проводилися для умов, які найменше сприяли отриманню економічного ефекту та за ціною газу для населення в 5430 грн. за тисячу метрів кубічних, яка прийнята з інтернет-джерел станом на 17 січня 2015 р. А, отже, при інших вихідних даних і умовах проведення ремонтних робіт приведений ефект може бути ще більшим.

Також проведені дослідження дозволили встановити, що зниження тиску, яке визначалося за так званним базовим способом [8], не є оправдане ще й з технологічної точки зору, оскільки формулою (1) не враховано який саме процес зварювання відбувається на трубопроводі, а саме: не враховується швидкість руху джерела тепла, теплова інтенсивність зварювальної дуги, загальна інтенсивність охолодження стінки труби зовнішнім і внутрішнім теплоносіями. А саме ці параметри суттєво впливають на характер розподілу температур та, відповідно на механічні характеристики трубної сталі і величину тиску, яку здатен витримати трубопровід при нагріві зварювальною дугою.

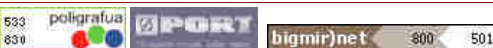
Література.

1. Запукхляк В.Б. Методи безвогневого врізання в діючі трубопроводи / В.Б. Запукхляк, Т.П. Шیان, М.Д. Степ'юк // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ – 2010. – №1(34). – С. 14-19.
2. Врезка и перекрытие трубопроводов при строительстве и капитальном ремонте: [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sc-intra.ru/publications/media/vrezka-i-perekrytie-truboprovodov-pri-stroitelstve-i-kapitalnom-remonte/>.
3. Бут В.С., Щербак А.В. Обоснование применения дуговой сварки при ремонте магистральных трубопроводов под давлением / В.С. Бут, А.В. Щербак // Сварщик. – 2001. – № 3. – С. 15–19.
4. Расчет температурных полей в пластинах при электросварке плавлением / [А.А. Казимиров, А.Е. Недосека, Л.М. Лобанов и др.]. – К. : Наукова думка, 1968. – 832 с.
5. Гаген Ю.Г. Тепловые расчеты при сварке трубопроводов и конструкций : учеб. пособ. / Ю.Г. Гаген, В.Д. Таран. – М. : 1973. – 92 с.
6. Подстригач Я.С., Коляно Ю.М. Неустановившиеся температурные поля и напряжения в тонких пластинах. – Киев: Наукова думка, 1972. – 308с.
7. Васильк А.В. Теплові розрахунки при зварюванні / А.В. Васильк, Я.М. Дрогомирецький, Я.А. Криль. – Івано-Франківськ : Факел, 2004. – 209 с. – ISBN 966-694-040-X.
8. Інструкція з технології і техніки безпеки приєднання газопроводів, газопроводів-відгалужень до діючих МГ під тиском з застосуванням зварювальних робіт: Затв. Першим заступником генерального директора ДК "Укртрансгаз" 01.03.2001. – Харків: УкрНДІгаз, 2001. – 66 с.
9. Запукхляк В.Б. Теоретичні дослідження температурних процесів під час приварювання патрубків до діючого трубопроводу / В.Б. Запукхляк // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ – 2010. – №3(36). – С. 53-55.
10. Грудз В.Я. Дослідження термопружності трубних сталей при місцевому нагріванні трубопроводу / В.Я. Грудз, В.Б. Запукхляк // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2010. – №3(25). – С. 102-105.

References.

1. Zapukhlyak, V.B. Shyyan, T.P. and Stepyuk, M.D. (2010), "Methods of the hot tapping in operating pipeline", *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch*, vol. 34, no. 1, pp. 14-19.
2. Servisnaya kompaniya INTRA (2014), "Online hot tapping and line stopping in pipelines at building and capital repairs", available at: <http://www.sc-intra.ru/publications/media/vrezka-i-perekrytie-truboprovodov-pri-stroitelstve-i-kapitalnom-remonte/> (Accessed 27 February 2015).
3. But, V.S. and Shcherbak, A.V. (2001), "Ground of application of arc/w at repair of main pipelines under constraint", *Svarshchik*, vol. 3, pp. 15–19.
4. Kazimirov, A.A. Nedoseka, A.E. Lobanov, L.M. and Radchenko, I.S. (1968), *Raschet temperaturnykh poley v plastinakh pri elektrosvarke plavleniem* [Calculation of the temperature fields in plates at electrical welding melting], Naukova dumka, Kyiv, Ukraine.
5. Gagen, Yu. H. and Taran, V.D. (1973), *Teplovye raschetny pri svarke truboprovodov i konstrukciyi* [Thermal calculations at welding of pipeline and constructions], Moscow.
6. Podstrigach, Ya.S. and Kolyano, Yu.M. (1972), *Neustanovivsheesya temperaturnye polya i napryazheniya v tonkikh plastinakh* [Not set the temperature fields and tensions in laminas], Naukova dumka, Kyiv, Ukraine.
7. Vasylyk, A.V. Drohomiretskiy, Ya.M. and Kril, Ya.A. (2004), *Teplovi rozrakhunky pry zvaryuvanni* [Thermal calculations are at welding], Fasel, Ivano-Frankivsk, Ukraine.
8. National Joint-Stock Company NAFTOGAZ of Ukraine (2001), "Instruktsiya z tekhnologii i tekhniki bezpeky pryednannya hazoprovodiv, hazoprovodiv-vidhaluzhen do diyuchykh MH pid tyskom z zastovuvannyam zvaryvalnykh robot" [Instruction from technology and accident of joining of gas pipelines, pipelines-branches prevention to operating MP force-feed with the use of welding works], UkrNDIgaz, Kharkiv, Ukraine.
9. Zapukhlyak, V.B. (2010), "Theoretical researches of temperature processes during welding on of the union coupling to operating pipeline", *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch*, vol. 36, no. 3, pp. 53-55.
10. Grudz, V.Ya. and Zapukhlyak, V.B. (2010), "Research of thermoelasticity of pipe steel at the local heating pipeline", *Naukovyyi visnyk IFNTUNH*, vol. 25, no. 3, pp. 102-105.

Стаття надійшла до редакції 02.03.2015 р



ТОВ "ДКС Центр"