

**Висновки.** Визначена актуальність технології отримання сплавів на основі цирконію та титану. Показані проблеми легування сплавів, пов'язані зі складністю забезпечення заданого складу та рівномірністю розподілу легувальних елементів. За результатами дослідження розроблено технологічну схему процесу легування рідкісних тугоплавких металів титану та цирконію. Встановлено, що спосіб введення легувального елементу алюмінію в процес магністермічного відновлення РТМ в якості додаткового відновника є оптимальним. Ефективним способом введення ванадію в процес легування можливий при використанні суміші тетрахлоридів ванадію та титану в якості вихідної сировини для процесу відновлення титану губчастого. Розроблено конструкцію апаратів відновлення тетрахлориду цирконію та суміші тетрахлоридів титану та ванадію.

**Список літератури:** 1. Цегельник, Э. Смокинг для урана [Текст] / Э. Цегельник // Атомная энергетика. - 2005. - № 17. - С. 30 – 32. 2. Колачев, Б. А. Основные принципы легирования титановых сплавов [Текст] / Б. А. Колачев // Известия вузов. Цветная металлургия. - 1996. - № 4. - С. 34 – 41. 3. Zirconium industry overview (zirconium, metal, mineral) [Text]: Industry report. 4. Цирконий и его сплавы: технологии производства, области применения – обзор [Текст] / В. М. Ажажа, П. Н. Вьюгов, С. Д. Лавриненко и др. – Харьков : ННЦ ХФТИ, 1997. – 98 с. 5. Металлургия циркония и гафния [Текст] / Н. В. Барышников, В. Э. Гегер, Н. Д. Денисова и др. ; под ред. Л. Г. Нехамкина. – М. : Металлургия, 1979. – 208 с. 6. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства: Справочник [Текст] / А. А. Ильин, Б. А. Колачев, И. С. Польшин. – М.: ВИЛС-МАТИ, 2009. – 520 с. 7. Титан: Свойства, сырьевая база, физико-химические основы и способы получения [Текст] / [под ред. В.А. Гарматы]. – М: Металлургия, 1983.–

559с. 8. Глазова, В. В. Легирование титана [Текст] / В. В. Глазова. – М.: Металлургия, 1966.– 191с. 9. Тарасов, А. В. Металлургия титана [Текст] / А. В. Тарасов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. – 328 с. 10. Спосіб магністермічного отримання губчастого цирконію : пат. 90853 Україна: МПК51 С 22 В34/14 [Текст] / О. П. Яценко, О. Д. Сушинський, Т. Б. Янко та інш. / заявник і патентовласник ДП «ДНДП Інститут титану»; заявл. 20.01.2014 ; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 11. 11. Пристрій для магністермічного відновлення тетрахлориду цирконію: пат. 82174 Україна: МПК51 С 22 В34/14 [Текст] / О. П. Яценко, Т. Б. Янко, Р. А. Щербань та інш. / заявник і патентовласник ДП «ДНДП Інститут титану»; заявл. 24.01.2013 ; опубл. 25.07.2013, Бюл. № 14.

**Bibliography (transliterated):** 1. Tsel'nyk, E. (2005). Smokyng dla urana [Tuxedo for uranium]. Atomnaia enerhetyka, 17, 30 – 32. 2. Kolachev, B. A. (1996). Osnovnye printsypy legirovaniia titanovykh splavov [The basic principles of titanium alloys doping]. Tsvetnaia metallurgija, 4, 34 – 41. 3. Zirconium industry overview (zirconium, metal, mineral): Industry report. 4. Azhazha, V. M., V'iuhov, P. N., Lavrynenko, S. D. (1997). Tsyronij i ego splavy: tekhnologii proizvodstva, oblasti primeneniia [Zirconium and its alloys are: manufacturing technology, application]. Khar'kov: NCS, 98. 5. Baryshnikov, N. V., Heher, V. E., Denisova, N. D. (1979). Metallurgija tsyrkonija i gafnija [Metallurgy of zirconium and hafnium]. In Nekhamkin L.H. (eds.); Moscow: Metallurgija, 208. 6. Il'yn, A. A., Kolachev, B. A., Pol'kun, Y. S. (2009). Titanovyie splavy. Sostav, struktura, svojstva [Titanium alloys. Composition, structure, properties]. Moscow: VILS-MATI, 520. 7. Garmata, V. A. (Eds.). (1983). Titanium: Properties, raw materials, physical and chemical bases and methods for the preparation. Moscow: Metallurgija, 559. 8. Glazova, V. V. (1966). Legirovanie titana [Alloying of titanium]. Moscow: Metallurgija, 191. 9. Tarasov, A. V. (2003). Metallurgija titana [Metallurgy of titanium]. Moscow: Akademkniga, 328. 10. Yatsenko, O. P., Suschyn's'kyj, O. D., Ianko, T. B. (2014). UA. Patent No. 90853. Zaporizhzhia, UA: State Titanium Research and Design Institute. 11. Yatsenko, O. P., Scherban', R. A., Ianko, T. B. (2014). UA. Patent No. 82174. Zaporizhzhia, UA: State Titanium Research and Design Institute.

Надійшла (received) 07.06.2015

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Янко Тарас Богданович** – завідувач лабораторії «Металотермії та порошкової металургії», ДП «ДНДП Інститут титану»; тел.: 063-400-09-37; e-mail: [titanlab3@rambler.ru](mailto:titanlab3@rambler.ru).

**Янко Тарас Богданович** – заведуючий лабораторією «Металотермії та порошкової металургії», ГП «ГНДП Інститут титану»; тел.: 063-400-09-37; e-mail: [titanlab3@rambler.ru](mailto:titanlab3@rambler.ru).

**Ianko Taras** - Head of laboratory “Metalothermal processes and powder metallurgy”, State Titanium Research Institute; tel.: 063-400-09-37; e-mail: [titanlab3@rambler.ru](mailto:titanlab3@rambler.ru).

**Овчинников Александр Володимирович** – доктор технічних наук, Запорізький національний технічний університет, професор кафедри механіки, директор НДЦ «Титан Запоріжжя».

**Овчинников Александр Владимирович** – доктор технических наук, Запорожский национальный технический университет, профессор кафедры механики, директор НИЦ «Титан Запоріжжя».

**Ovchinnikov Olexandr** - Doctor of science, Zaporizhzhia National Technical University, Professor Department of “Mechanics”, Head of Science Research Centre “Titanium Zaporizhzhia”.

УДК 622.691.4

**В. М. ІВАСІВ, А. П. ДЖУС, О. В. ІВАСІВ**

### ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЄМНОСТЕЙ КОМБІНОВАНОГО ТИПУ В ПРОЦЕСІ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Розроблено засіб та методика визначення технічного стану ємностей комбінованого типу в процесі їх експлуатації. Запропоновано використовувати для неруйнівного контролю металевих лейнерів конструкцій комбінованого типу спеціальну автоматизовану систему, створену на базі високочастотного індуктивного давача як сенсора втрат металу в кожній точці контролю. Встановлено можливість використання опробованої методики для визначення розривного внутрішнього тиску металевого лейнера за результатами оцінки фактичного стану його поверхні.

**Ключові слова:** ємності комбінованого типу, композитний матеріал, міцність та руйнування ємностей, корозійне пошкодження металевого лейнера.

**Вступ.** За умов небажання компаній вкладати великі інвестиції в газотранспортну інфраструктуру, чи наявності фізичних обмежень, що унеможливають доставку газу на сушу, технологія транспорту

вання природного газу у стиснутому стані є економічно обґрунтованою на ринку «невигідного» газу [1]. Використання при розробленні початкових проектів барж, на яких, для прикладу, можуть бути реалізовані

© В. М. Івасів, А. П. Джус, О. В. Івасів, 2015

різні технологічні рішення щодо зберігання стиснутого газу [2, 3], сприятиме зменшенню капіталовкладень, необхідних для їх реалізації. Однак важливо при цьому покластися на прості, перевірені у подібних робочих середовищах процеси та обладнання.

Найближчим за своєю суттю є процес транспортування газу в стиснутому стані наземними транспортними засобами. Транспортування газу морськими акваторіями характеризується значно більшими об'ємами перевезень та швидкостями процесів завантаження і розвантаження. Зважаючи на це, необхідним є дослідження впливу особливостей цих процесів на зміну напружено-деформованого стану ємностей високого тиску.

В той же час вирішення питань надійності ємностей високого тиску для транспортування та зберігання газу, з одночасним зниження їх питомої маси і габаритів, як і раніше, залишається актуальним завданням [4]. Одним із підходів до вирішення цього завдання є застосування ємностей комбінованого типу. Поєднання відносно жорсткої металевої оболонки і оболонки, виготовленої методом намотування високоміцних волокон, просочених епоксидним зв'язуючим, дозволяє суттєво знизити питому масу комбінованих ємностей у порівнянні зі сталевими.

Прикладом ємностей комбінованого типу є балони типу CNG-2. Їх проектування здійснюється таким чином, що металева оболонка має достатню міцність, щоб сприймати поздовжнє навантаження за встановленого розривного внутрішнього тиску і витримувати без руйнування номінальний робочий тиск регламентований стандартом. Це обумовлено тим, що оболонка армується волокнами, які намотуються тільки в кільцевому напрямку.

**Аналіз особливостей експлуатації ємностей комбінованого типу.** При експлуатації комбінованих ємностей через істотну відмінність модулів пружності матеріалів шари оболонки, як правило, навантажені не рівномірно. В той же час, як засвідчують результати зовнішнього огляду балонів типу CNG-2, для композитного покриття характерною є наявність кільцевих тріщин. Вони утворюються внаслідок коливань температури навіть за умов відсутності навантажень внутрішнім тиском [3]. Такі тріщини не впливають на міцність композиту, але вони дозволяють проникнути волозі до сталеві оболонки. Внаслідок цього незахищена поверхня оболонки зазнає корозійного пошкодження. В окремих випадках іржа потрапляє на зовнішню поверхню композитного покриття (рис. 1, а).

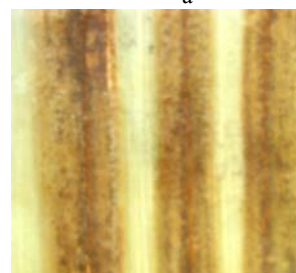
На поверхні сталеві оболонки в околі тріщин утворюються доволі широкі, у порівнянні із їх розмірами, ділянки з поверхневою корозією [5]. Про це свідчить стан внутрішньої поверхні композитного покриття балона високого тиску, що був зруйнований через певний період після випробування його на циклічну довговічність (рис. 1, б).

Слід зауважити, що для визначення можливого ресурсу експлуатації балонів типу CNG-2 зі сталеві оболонкою зварної конструкції проводились їх випробування в режимі циклічного навантаження внутрішнім гідравлічним тиском, що змінювався в діапазоні від 2,0 до 22,0 МПа з частотою не більше 10

циклів за хвилину [6]. Аналогічні випробування проведені авторами [7] для балонів з суцільнотягнутою сталеві оболонкою. Балони після випробування на втому шляхом створення 20000 циклів тиском від 0 до 20,7 МПа, були доведені до руйнування постійним збільшенням тиску від 0 до 61,5 МПа. Як середовище для створення тиску в ході випробування на втому використовувалось машинне масло, а для остаточного розриву – вода.



а



б

Рис. 1 – Наявність продуктів корозії металеві лейнера: а - на зовнішній поверхні композитного підсилення; б - на внутрішній поверхні композитного підсилення

Аналізуючи особливості випробувань балонів необхідно зазначити, що вони не враховують важливих експлуатаційних чинників, а саме: зміни температури газу і відповідно стінок балонів в процесі підвищення та зниження тиску, зміни властивостей матеріалів та впливу корозійних процесів. Підтвердженням останнього також є стан поверхні сталеві оболонки балона зруйнованого в процесі випробувань (рис. 2, а) та після експлуатації впродовж тривалого періоду на транспортному засобі (рис. 2, б).

Поверхня циліндричної частини балона зруйнованого в ході випробувань не містить жодних слідів корозії. Її характерна тільки незначна зміна кольору окремих ділянок антикорозійного покриття, яка, ймовірно, зумовлена взаємодією сталеві оболонки із композитним підсиленням. Для порівняння на циліндричній поверхні сталеві оболонки експлуатованого балона відсутнє покриття, а композитне підсилення містить кільцеві тріщини, що повторюються по всій його довжині.

Щодо можливих причин руйнування балона в процесі його експлуатації слід зазначити, що однією із них є використання монтажних кронштейнів з недостатньою ізоляцією їх від контакту зі скловолокном (рис. 3, а), що може призвести до руйнування окремих волокон (рис. 3, б) під впливом сталі кронштейна на поверхню композиту і, як наслідок, критичного зниження його міцності.



Рис. 2 – Стан поверхні сталеві оболонки балона: а - зруйновано в процесі випробувань; б - зруйновано після експлуатації на транспортному засобі впродовж тривалого періоду

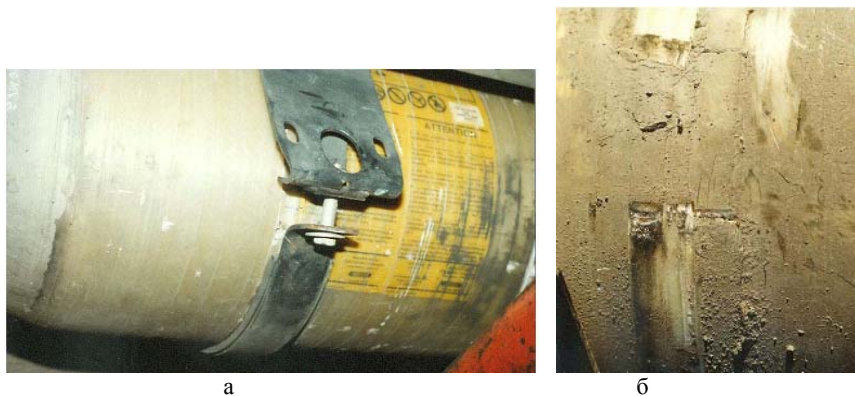


Рис. 3 – Свідчення можливих причин руйнування композитного підсилення балона: а - монтажний кронштейн з недостатньою ізоляцією від контакту зі скловолокном; б - волокна зруйновані внаслідок взаємодії із кронштейном

В певній мірі сприяти руйнуванню може і характер взаємодії елементів ємностей комбінованого типу. Як зазначалось в [3], потрапляння через кільцеві тріщини в композитному підсиленні вологи на поверхню сталеві оболонки зумовлюватимуть її корозійне пошкодження, що потребує особливої уваги за умов експлуатації ємностей на морських транспортних засобах.

**Мета дослідження.** Недостатнє вивчення цілого ряду питань щодо особливостей експлуатації ємностей комбінованого типу обумовлює актуальність досліджень, спрямованих на забезпечення надійності ємностей на стадії їх експлуатації. Тому метою досліджень є розроблення засобу та методики визначення технічного стану ємностей комбінованого типу в процесі їх експлуатації.

**Опис вирішення задачі визначення технічного стану ємностей комбінованого типу в процесі їх експлуатації.** В значній мірі залишковий ресурс ємностей визначається міцнісними характеристиками, які напряму залежать від залишкової товщини стінок та величини втрат металу виробів, що знаходяться в експлуатації [8 – 10].

Безпосередньо термін служби балонів, протягом якого їх експлуатація є безпечною, повинен бути встановлений виробником на основі результатів випробувань в умовах, визначених відповідним стандартом, і не повинен бути більшим 20 років. Ємності для транспортування стиснутого газу різних типів та виробників характеризуються цілим рядом подібних параметрів. Однак їх терміни служби і технічного огляду (опосвідчення) можуть значно відрізнятись, що залежить від типу балонів.

Для металевих балонів та балонів з металевим лейнером термін служби повинен визначатися з розвитку втомних тріщин при циклічних випробуваннях. Ультразвуковий або еквівалентний йому неруйнівний контроль кожного балона і лейнера повинен забезпечувати відсутність дефектів, які перевищують максимальний допустимий розмір [10].

Враховуючи необхідність експлуатації ємностей комбінованого типу в морських акваторіях, контроль стану їх сталеві поверхні, що зазнає корозійного пошкодження, є одним з головних завдань забезпечення їх надійного функціонування. Оцінити фактичний стан ємностей і встановити терміни подальшого діагностичного контролю є можливим за результатами їх електрометричних обстежень. Визначення характеру і лінійних розмірів дефектів здійснюється, як правило, традиційними методами неруйнівного контролю.

Безпосередньо процедура технічного огляду балонів високого тиску є досить клопіткою і витратною. Так, наприклад, балони, якими комплектуються пересувні автогазозаправники, для проведення огляду повинні бути демонтовані і спрямовані в організацію, що має ліцензію на проведення такого виду робіт. Періодичність технічних оглядів балонів, що знаходяться в експлуатації і підлягають реєстрації в органах Держнаглядохоронпраці, становить від трьох до п'яти років залежно від умов експлуатації і швидкості фізико-хімічного перетворення матеріалів (корозії) зокрема [11].

Зважаючи на особливості конструкції ємностей комбінованого типу (CNG-2), використання методів неруйнівного контролю є доволі обмеженим. Загалом



відомі пристрої, що реалізують електромагнітні методи контролю, зокрема на основі використання індуктивних датчиків корозії. Саме цей метод покладено в основу експериментального зразка індуктивного приладу контролю корозії поверхні [12]. Пристрій призначений для неруйнівного контролю ділянок трубопроводів і містить індуктивний датчик з визначеним діапазоном вимірювання відстаней до металевої поверхні труби без контакту з ізоляцією трубопроводу в процесі вимірювання, систему переміщення датчика вздовж поверхні металу з приводом від крокового двигуна та мікропроцесорний інформаційно-керуючий блок.

Корозія призводить до втрат металу в першу чергу на зовнішній поверхні трубопроводу, яка безпосередньо контактує із зовнішнім середовищем. Якщо встановити опори конструкції на некородовану поверхню, то при переміщенні індуктивного датчика паралельно поверхні по напрямних, які жорстко зв'язані з опорами, покази датчика будуть пропорційними величині відстані між поверхнею датчика і поверхнею металу. Коли датчик зміщується по напрямних вздовж поверхні металу за рахунок приводу від крокового двигуна, то в пам'ять мікроконтролера блока управління заносяться покази індуктивного датчика та його координати при отриманні кожного із цих показів. Для цього використовуються значення керуючих імпульсів та параметри різьби ходового гвинта горизонтального переміщення індуктивного датчика в процесі контролю. Після закінчення процесу контролю вздовж всієї поверхні, в мікроконтролері здійснюється перерахунок показів датчика в одиниці довжини.

Оскільки в ємностях комбінованого типу зовнішній зміцнюючий шар як і ізоляційне покриття трубопроводу є неметалевим, а доступ до металу неможливий, то використання описаного вище пристрою дає змогу оцінити стан поверхні металевого лейнера і зробити відповідні висновки.

В той же час до недоліків згаданого пристрою слід віднести необхідність переміщення його в колітовому напрямку у ручному режимі з фіксацією наступного положення відносно попереднього або початкового положення. При цьому можливі неточності у визначенні параметрів зони корозійного пошкодження, що є важливим при встановленні її розмірів. Також знижується можливість ідентифікувати дефекти з розмірами, співмірними з відстанню між попереднім і наступним положенням датчика.

Зважаючи на це пристрій для вимірювання геометричних розмірів і визначення форми поверхневих втрат металу вдосконалений шляхом введення механізму переміщення датчика разом із пристроєм в колітовому напрямку, який з'єднаний з окремим кроковим двигуном, що служить його приводом (рис. 4)[13].

У запропонованому пристрою, завдяки автоматичному переміщенню датчика в осьовому і колітовому напрямку, реалізується можливість ідентифікації дефектів за розмірами і за формою з високою точністю вимірювання та відтворення дефекту у тривимірному вигляді. Окремі результати, отримані з використанням пристрою, наведені на рис. 5.

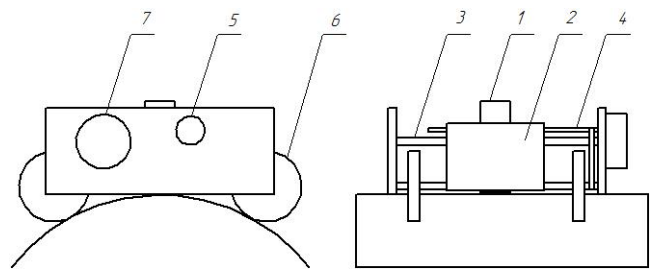
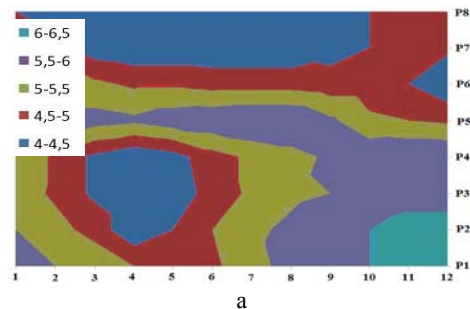
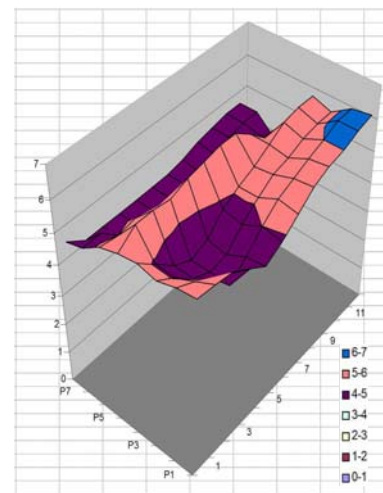


Рис. 4 – Конструкція пристрою для вимірювання геометричних розмірів і визначення форми поверхневих втрат металу за допомогою індуктивного датчика: 1 – датчик; 2 – каретка; 3, 4, 5 – відповідно напрямні, ходовий гвинт і кроковий двигун переміщення датчика в осьовому напрямку; 6, 7 – відповідно механізм переміщення датчика в колітовому напрямку та кроковий двигун його приводу



а



б

Рис. 5 – Профіль дослідженої ділянки, яка містить корозійне пошкодження: а - у площинній інтерпретації; б - у просторовій інтерпретації

Відповідно до вимог нормативного документу [10] допустимий розмір дефекту для неруйнівного контролю встановлюється за результатами випробувань балонів, що містять штучні дефекти певних розмірів. Однак в процесі експлуатації ємностей комбінованого типу металевий лейнер зазнає не механічного, а корозійного пошкодження. Порівняти параметри штучно нанесених дефектів із параметрами корозійних доволі важко через довільну їх просторову форму. Це зумовлює необхідність приведення складних корозійних дефектів до більш простих.

В той же час, відповідно до чинних нормативних документів [14], розрахунковий тиск руйнування лейнера балонів типу CNG-2 повинен бути не менше 1,3Р (Р - робочий тиск). При чому тиск руйнування, визначений

за результатами гідравлічних випробувань, повинен бути не менше розрахункового тиску руйнування.

Зважаючи на це необхідно є наявність достовірних розрахункових методик для визначення розривного внутрішнього тиску металевий лейнера за результатами оцінки фактичного стану його поверхні.

На сьогодні до використання пропонується цілий ряд методик, окремі із яких мають експериментальне підтвердження їх достовірності. Так методика, запропонована і експериментально перевірена авторами [15] для довільно орієнтованих штучно наведених дефектів, була опробована [16] на зразках, що містили корозійні дефекти. В ході проведених експериментальних досліджень підтверджено достатню точність визначення руйнівного тиску з використанням цієї методики.

Для більш повного врахування результатів отриманих з використанням запропонованого пристрою, а саме можливості відтворення дефекту у тривимірному вигляді, необхідним є використання сучасних програмних продуктів на базі методу скінченних елементів. Саме на вирішення питань визначення параметрів напружено-деформованого стану ємностей комбінованого типу із можливими корозійними пошкодженнями металевих оболонок будуть спрямовані подальші дослідження.

**Висновки.** За результатами проведених теоретичних та експериментальних досліджень запропоновано для неруйнівного контролю металевих лейнерів конструкцій комбінованого типу використовувати спеціальну автоматизовану систему, створену на базі високочастотного індуктивного давача як сенсора втрат металу в кожній точці контролю. Це дає можливість відтворення ділянок втрат металу на основі просторових даних, отриманих від системи переміщення давача. Також встановлено можливість використання опробованої методики для визначення розривного внутрішнього тиску металевий лейнера за результатами оцінки фактичного стану його поверхні.

**Список літератури:** 1. Джус, А. П. Проблеми впровадження технології транспортування стиснутого природного газу морськими акваторіями [Текст] / А. П. Джус, Д. А. Волінський // Технологічний аудит і резерви виробництва, – 2014. – №6/5(20). – С. 23-25. 2. Stephen, G. CNG marine transport – demonstration project development [Text] / G. Stephen, G. Cano // Presented at the Offshore Technology Conference, Houston, Texas, USA, 2006. 3. Джус, А. П. Особливості використання комбінованих ємностей для транспортування стисненого природного газу (CNG) морськими акваторіями [Текст] / А. П. Джус // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2015. – №1(54). – С. 34-40. 4. Верещака, С. М. Определение напряженно-деформированного состояния комбинированного баллона высокого давления [Текст] / С. М. Верещака, Д. А. Жигилий // Компрессорная техника и пневматика в XXI веке: XIII Международная научно-техническая конференция по компрессоростроению. – Сумы: Изд-во СумГУ, 2004. – Т. 3. – С. 164-170. 5. Джус, А. П. Влияние условий эксплуатации на долговечность комбинированных конструкций [Текст] / А. П. Джус // Теория та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій: Тези доповідей. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД. – 2014. – С. 53. 6. Мандрик, О. М. Аналіз методів зміцнення замкнутих ємностей для безпечного транспортування природного газу [Текст] / О. М. Мандрик, О. М. Савицький, В. І. Артим // Наукові нотатки: міжвузівський збірник. – Луцьк: Луцьк. держ. техн. ун-т, 2013. – Вип. 41. – С. 176-186. 7. Damage evaluation for Type-II CNG cylinder by the analysis of AE parameters [Electronic resource] / Hyun-Sup JEE, Jong-O LEE, No-Hoe JU, Cheal-Ho SO, Jong-Kyu LEE // 30th European Conference on

Acoustic Emission Testing & 7th International Conference on Acoustic Emission. University of Granada, 12-15 September 2012. – Available at: [www/URL: www.ndt.net/article/ewgae2012/content/papers/37\\_Jee.pdf](http://www.ndt.net/article/ewgae2012/content/papers/37_Jee.pdf) 8. DSTU-N B V.2.3 – 21 – 2008. Настанова визначення залишкової міцності магістральних трубопроводів з дефектами. – [Діючий від 20.08.2008] – К.: МРР та БУ, 2008. – 91 с. 9. Методика оценки технического состояния труб газопровода с длительным сроком эксплуатации и его остаточного ресурса [Действующая от 15.12.2003]. – К.: ДК «Укртрансгаз», 2002. – 72 с. 10. ISO 11439-2003. Gas cylinders – High pressure cylinders for the on-board storage of natural gas as a fuel for automotive vehicles // International Standard. ISO. – 2003. – Режим доступу: [www/URL: gost\\_r\\_iso\\_11439\\_v\\_Rosstandart.pdf](http://www/URL: gost_r_iso_11439_v_Rosstandart.pdf) 11. ДНАОП 0.00-1.07-94 Правила будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском. Затверджені наказом Держнаглядохоронпраці України від 18.10.94р. № 104. 12. Криничний, П. Я. Комп'ютеризовані технічні засоби контролю корозійного пошкодження трубопроводу [Текст] / П. Я. Криничний, О. М. Карнаш, П. М. Райтер // Обеспечение эксплуатационной надежности систем трубопроводного транспорта: Научно-практический семинар, Киев, 25-27 апреля 2005: сборник докладов - Киев: ЭкоТехнология, 2005. – С. 173-175. 13. Пристрій для вимірювання геометричних розмірів і визначення форми поверхневих втрат металу тіла труби [Електронний ресурс]: Патент України на корисну модель № 86513, МПК G01V 13/00 / Івасів В. М., Слободян В. І., Райтер П. М., Ільницький Р. М., Грохольський В. В., Буй В. В., Пірко В. М., Яновський С. Р., Івасів О. В., Басараб Р. М., Татаренков О. Д., Джус А. П.; заявник і патентотримувач Державна Служба гірничого нагляду та промислової безпеки України (ДЕРЖГІПРОМНАГЛЯД) Держане підприємство «Карпатський експертно-технічний центр Держгірпромнагляду України». – № у 2012 12160; заявл. 23.10.2012; опубл. 10.01.2014, Бюл. № 1. – Режим доступу: <http://uapatents.com/5-86513-pristrij-dlya-vimiryvannya-geometrichnikh-rozmiriv-i-viznachennya-formi-poverkhnevikh-vtrat-metalu-tila-trubi.html> 14. ГОСТ Р 51753-2001. Государственный стандарт российской федерации. Баллоны высокого давления для сжатого природного газа, используемого в качестве моторного топлива на автомобильных транспортных средствах. – М.: Гостстандарт России, 2001. – 20 с. (Общие технические условия.) – Режим доступу: [www/URL: http://docs.cntd.ru/document/gost-r-51753-2001](http://docs.cntd.ru/document/gost-r-51753-2001) 15. Киселев, В. К. Модель оценки прочности и конструктивной надежности газопроводов с произвольно ориентированными поверхностными дефектами [Текст] / В. К. Киселев, В. П. Столов // Надежность и ресурс газопроводных конструкций. – М.: ВНИИГАЗ, 2003. – С. 67-77. 16. Слободян, В. І. Допустимий внутрішній тиск для дефектних газопроводів [Текст] / В. І. Слободян, А. П. Джус // Трубопровідний транспорт. – 2012. – №4(76). – С. 26-27.

**Bibliography (transliterated):** 1. Dzhus, A. P., Volinskiy, D. A. (2014). Problemi vprovadzhennya tehnologiyi transportuvannya stisnutogo prirodnogo gazu morskimi akvatoriyami. Tehnologicheskyy audit i rezervy proizvodstva, 6/5(20), 23 – 25. 2. Stephen, G., Cano, G. (2006). CNG marine transport – demonstration project development. Presented at the Offshore Technology Conference, Houston, Texas, USA. 3. Dzhus, A. P. (2015). Osoblivosti vikoristannya kombinovanih emnostey dlya transportuvannya stisnenogo prirodnogo gazu (CNG) morskimi akvatoriyami. Rozvidka ta rozrobka naftovih i gazovih rodovishch, №1(54), 34 – 40. 4. Vereshchaka, S. M. (2004). Opredelenie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya kombinirovannogo ballona vysokodavleniya. Kompessornaya tehnika i pnevmatika v XXI veke: XIII Mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya po kompressorostroeniyu. Somy: Izd-vo SumGU, Vol. 3, 164 – 170. 5. Dzhus, A. P. (2014). Vpliv umov ekspluatatsiyi na dovgochnist kombinovanih konstruktivnykh. Teoriya ta praktika ratsionalnogo proektuvannya, vigotovlennya i ekspluatatsiyi mashinobudivnih konstruktivnykh. Tези доповідей. Lviv: KINPATRI LTD, 53. 6. Mandrik, O. M., Savitskiy, O. M., Artim, V. I. (2013). Analiz metodiv zmitsnennya zamknyutih emnostey dlya bezpechnogo transportuvannya prirodnogo gazu. Naukovi notatki: mizhvuzivskiy zbirnik. Lutsk: Lutsk. derzh. tehn. un-t, Vol. 41, 176 – 186. 7. Hyun-Sup JEE, Jong-O LEE, No-Hoe JU, Cheal-Ho SO, Jong-Kyu LEE (2012). Damage evaluation for Type-II CNG cylinder by the analysis of AE parameters. 30th European Conference on Acoustic Emission Testing & 7th International Conference on Acoustic Emission. University of Granada. Available: [www/URL: http://www.ndt.net/article/ewgae2012/content/papers/37\\_Jee.pdf](http://www.ndt.net/article/ewgae2012/content/papers/37_Jee.pdf) 8. DSTU-N B V.2.3 – 21 – 2008. (2008). Nastanova viznachennya zalishkovoyi mitsnosti magistralnih truboprovodiv z defektami [Diyuchiy vid 20.08.2008]. K. – Kyiv: MRR ta BU, 91. 9. Metodika

otsenki tehnikeskogo sostoyaniya trub gazoprovoda s dlitelnyim srokom ekspluatatsii i ego ostatechnogo resursa (2002) [Deystvuyushchaya ot 15.12.2003]. K. – Kyiv: DK «Ukrtransgaz», 72. 10. ISO 11439-2003. Gas cylinders – High pressure cylinders for the on-board storage of natural gas as a fuel for automotive vehicles // International Standard. ISO. – 2003. – Available: \www/URL: [www/URL: gost\\_r\\_iso\\_11439\\_v\\_Rosstandart.pdf](http://www.iso.org/iso/11439_v_Rosstandart.pdf). 11. DNAOP 0.00-1.07-94 Pravila budovi i bezpechnoyi ekspluatatsiyi posudin, shcho pratsyuyut pid tiskom. Zatverdzeni nakazom Derzhnaglyadohoronpratsi Ukraini vid 18.10.94r. N 104. 12. Krinichniy, P. Ya., Karpash, O. M., Rayter, P. M. (2005). Komp'yuterizovani tehnični zasobi kontrolyu korozivnogo poskodzhennya truboprovodu. Obespechenie ekspluatatsionnoy nadezhnosti sistem truboprovodnogo transporta: Nauchno-prakticheskiy seminar, Kiev: Ekotehnologiya, 173 – 175. 13. Ivasiv, V. M., Slobodyan, V. I., Rayter, P. M., Ilnitskiy, R. M., Groholskiy, V. V., Buy, V. V., Pirko, V. M., Yanovskiy, S. R., Ivasiv, O. V., Basarab, R. M., Tatarenkov, O. D., Dzhus, A. P.; applicant and patentee Derzhavna Sluzhba gornichogo naglyadu ta promisl'ovoyi bezpeki Ukraini Derzhane pidpriemstvo «Karpatskiy ekspertno-tehničniy tsentr

Derzhgirpromnaglyadu Ukraini». (10.01.2014). Pristriy dlya vimiryuvannya geometrichnih rozmiriv i viznachennya formi poverhnevih vtrat metalu tila trubi. Patent Ukraini na korisnu model № 86513, MPK G01V 13/00/. Appl. 23.10.2012 № u 2012 12160; Bul. № 1. Available: \www/URL: <http://uapatents.com/5-86513-pristriji-dlya-vimiryuvannya-geometrichnih-rozmiriv-i-viznachennya-formi-poverhnevih-vtrat-metalu-tila-trubi.html>. 14. GOST R 51753-2001. Gosudarstvennyy standart rossiyskoy federatsii. Ballony vysokogo davleniya dlya szhatogo prirodnogo gaza, ispolzuemogo v kachestve motornogo topliva na avtomobilnyh transportnyh sredstvakh. M.: Goststandart Rossii, 20. (Obschie tehnikeskie usloviya.) Available: \www/URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-51753-2001>. 15. Kiselev, V. K., Stolov, V. P. (2003). Model otsenki prochnosti i konstruktivnoy nadezhnosti gazoprovodov s proizvolno orientirovannymi poverhnostnyimi defektami. Nadezhnost i resurs gazoprovodnyh konstruksiy. M.: VNIIGAZ, 67 – 77. 16. Slobodyan, V. I., Dzhus, A. P. (2012). Dopustimiy vnutrishniy tisk dlya defektnih gazoprovodiv. Truboprovodniy transport, №4(76), 26 – 27.

Надійшла (received) 07.06.2015

#### 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](mailto:ivasivvm@rambler.ru).

**Івасів Василь Михайлович** – доктор технических наук, профессор, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, кафедра нефтегазового оборудования; тел. 097-70-97-592; e-mail: [ivasivvm@rambler.ru](mailto:ivasivvm@rambler.ru).

**Ivasiv Vasylych** - Dr. 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](mailto:ivasivvm@rambler.ru).

**Дзюс Андрій Петрович** – кандидат технічних наук, доцент, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, кафедра нафтогазового обладнання; тел. 098-95-94-505; e-mail: [andriy\\_dzhus@i.ua](mailto:andriy_dzhus@i.ua).

**Дзюс Андрій Петрович** – доктор технических наук, профессор, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, кафедра нефтегазового оборудования; тел. 098-95-94-505;

**Dzhus Andriy** – Ph.D., Associate Professor, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Department of oil and gas equipment; tel. 098-95-94-505; e-mail: [andriy\\_dzhus@i.ua](mailto:andriy_dzhus@i.ua).

**Івасів Орест Васильович** – інженер, Державне підприємство «Карпатський експертно-технічний центр Держпраці», тел. 050-50-86-493; e-mail: [ivasivov@rambler.ru](mailto:ivasivov@rambler.ru).

**Івасів Орест Васильевич** – инженер, Государственное предприятие «Карпатский экспертно-технический центр Гоструда», тел. 050-50-86-493; e-mail: [ivasivov@rambler.ru](mailto:ivasivov@rambler.ru).

**Ivasiv Orest** – Engineer, State Enterprise "Carpathian expert technical center Derzhpratsi", tel. 050-50-86-493; e-mail: [ivasivov@rambler.ru](mailto:ivasivov@rambler.ru).

УДК 621.757

**А. А. ПАВЛОВА, С. В. РОМАНОВ, А. Н. ЛАГОДА**

#### УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ РАЗБОРКИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕРМОВОЗДЕЙСТВИЯ

Разработана математическая модель нестационарного теплового процесса, которая представляет собой систему дифференциальных уравнений второго порядка переменной структуры в зависимости от температуры элементов многокомпонентных соединений. Модель может быть использована как для управления нагревом в процессах выплавки наполнителей, так и для управления нагревом при тепловой разборке многоэлементных соединений с натягом. Применение данной модели позволит в значительной степени минимизировать затраты энергии при расформировании многокомпонентных соединений.

**Ключевые слова:** разборка соединений, индукционный нагрев, нестационарный тепловой процесс, математическая модель.

**Введение.** Технологические системы (ТС) механосборочного производства, использующие термовоздействие при реализации процессов разборки или выплавки наполнителей, отличается от других ТС нестационарностью, поскольку наряду с вещественными преобразованиями в них происходят периодические тепловые изменения элементов. Среди множества решенных задач теплопроводности и теплопередачи задачи, связанные с нестационарными процессами,

наименее разработанные. Имеющиеся аналитические модели нагрева достаточно громоздки и мало универсальны. Для любой из вновь разработанных моделей, требуется своя специализированная программа расчета.

**Анализ исследований и публикаций и постановка проблемы.** Для обеспечения минимума энергопотребления и максимальной эффективности работы системы, термовоздействие должно быть скоростным и адресным, т.е. за минимально короткий проме-