

М.А. Колодій, ст. викл.

Г.В. Скиба, к.т.н., доц.

Житомирський державний технологічний університет

## Стенди для випробування на міцність матеріалів зварних труб при дії корозійного середовища

*З метою вивчення особливостей руйнування матеріалів трубопроводів для транспортування нафти, газу, продуктів переробки нафти, води та інших речовин в лабораторії кафедри розробки родовищ корисних копалин ім. проф. Бакка М.Т. винайдено комплекс установок, на які отримано патенти України як корисні моделі № 30794, № 52493, для дослідження працездатності елементів вказаних трубопровідних систем в умовах, максимально наближених до експлуатаційних при дії корозійного середовища. Базовими елементами запропонованих установок для випробування матеріалів зварних труб на міцність при одноісному розтязі та при плоскому напруженому стані були використані роторні вакуумні пристрої. У статті приведені конструкції дослідницьких стендів для випробування на міцність матеріалів труб і зварних швів з використанням зразків матеріалів та натурних труб (укорочених) під дією статичних, малоциклових і динамічних навантажень та проаналізовано вплив агресивного середовища.*

**Ключові слова:** матеріали труб; робочий тиск; корозія; зварний поперечний та поздовжній шви; конструкції стендів.

**Постановка проблеми.** В процесі тривалої експлуатації магістральних трубопроводів під дією механічних навантажень і корозійного середовища в сталях труб проходять процеси старіння, кінетика яких залежить від хімічного складу і структури матеріалу, температури експлуатації, рівня напружень у стінці труби та хімічного складу транспортованого газу, нафти тощо. Наводнення, також є причиною локального окрихнення металу тіла труби.

Корозійне середовище підсилює руйнування металу труби. Основна причина корозії металів – це термодинамічна нестійкість металічного стану. Найбільш небезпечними для зварних труб є місцеві міжкристалічна та транскристалічна корозії, які не змінюючи зовнішнього вигляду металічної конструкції, ведуть до швидкої втрати нею міцності. Міжкристалічна корозія поширюється в глибину металу в проміжках між кристаликами. Внаслідок транскристалічної корозії в металі можуть утворюватись тріщини, що будуть проходити через кристалики металу. Корозія все частіше стає причиною аварій на нафто- і газопроводах [1].

У результаті гідравлічних випробувань трубних зварних швів на внутрішній тиск науковцями встановлено, що за наявності корозійних пошкоджень у зоні зварних з'єднань створюються ще більш сприятливі умови для деградації матеріалу [2]. Згідно з нормативними вимогами до технічного стану трубопроводів, обов'язковим є визначення границі міцності і границі плинності металу труби. Тому вдосконалення конструкції стендів для випробування матеріалів труб і зварних швів на міцність з урахуванням загальних принципів енергозбереження є актуальною науковою проблемою, яку потрібно вирішувати.

**Аналіз досліджень та публікацій.** З аналізу причин аварій магістральних трубопроводів встановлено, що відмови їх роботи пов'язані з розривами металу загалом або по кільцевих стикових та поздовжніх швах. Понад 50 % конструкцій руйнуються внаслідок корозійних пошкоджень, 37 % аварій викликані незадовільною якістю металу, його недостатньою пластичністю, ударною в'язкістю, неякісними лініями сплавлення, заводських швів [2].

Результати експериментальних досліджень [3] показують, що ударна в'язкість ( $KCV$ ) в локальній зоні окрихнення в основному металі може зменшитися у 6 разів, а в металі шва – у 9 разів [4]. Як відомо, процес деградації матеріалу труб приводить до зниження його тріщиностійкості і корозійної стійкості [5, 6]. Однак до теперішнього часу не існують стендові випробування міцнісної поведінки корозійних дефектів труб і зварних швів за умови малоциклових і динамічних навантажень.

**Метою роботи** є створення дослідницьких стендів, за допомогою яких відбувається фіксація появи і розвитку тріщин у матеріалі зварної труби залежно від навантажень при плоскому напруженому стані, при одноісному розтязі. Для навантаження використовувались зразки матеріалів, виготовлені з вирізок натурних труб, які містять зварний шов. Розміри зразків приведені нижче при обґрунтуванні конструкцій дослідницьких стендів та їх роботи.

**Викладення основного матеріалу. Установка для дослідження міцності матеріалів зварних труб при одновісному розтязі.** Базовим елементом конструкцій установок [7], [8] для дослідження міцності матеріалів зварних труб з використанням навантаження окремих зразків та їх комплектів являються раніше розроблені роторні вакуумні установки для дослідження міцності зразків гірських порід. Основою установок являються вакуумні камери 2 (рис.1, а) з вакуумними насосами 11, які мають внутрішній діаметр 800 мм і висоту  $\approx 800$  м. Камери встановлюються в вертикальному положенні на фундаментних опорах 1. Наявність вакуумного тиску в камерах забезпечує зменшення затрат енергії на подолання опору повітря обертовими об'єктами. Насосами створюється розрідження повітря в камері до рівня залишкового тиску, що відповідає висоті ртутного стовпчика 1–2 мм.

Привод обертання роторів з досліджуваними об'єктами виконується високошвидкісними двигунами постійного струму безпосередньо або через один з мультиплікаторів 4, який дозволяє отримати очікувану швидкість обертання об'єкту. Ротор з досліджуваними об'єктами підвішується до несучого валу, котрий на швидкісних підшипниках встановлений в корпусі 3. До несучого валу кріпиться несуча платформа 5.

Для навантаження зразків досліджуваних матеріалів, виготовлених з вирізок труб продуктопроводів, використовуються відцентрові сили, які виникають при обертанні зразків в касеті. Касета забезпечує утримання зразків в положенні, коли їхні центри тяжіння знаходяться на осі обертання. Очевидно, що зварний шов, що з'єднує дві однакові по масі частини зразка, повинен знаходитись посередині зварного зразка. При малій ширині зразка вважаємо, що його матеріал в полі відцентрових сил знаходиться при одновісному напруженому стані.

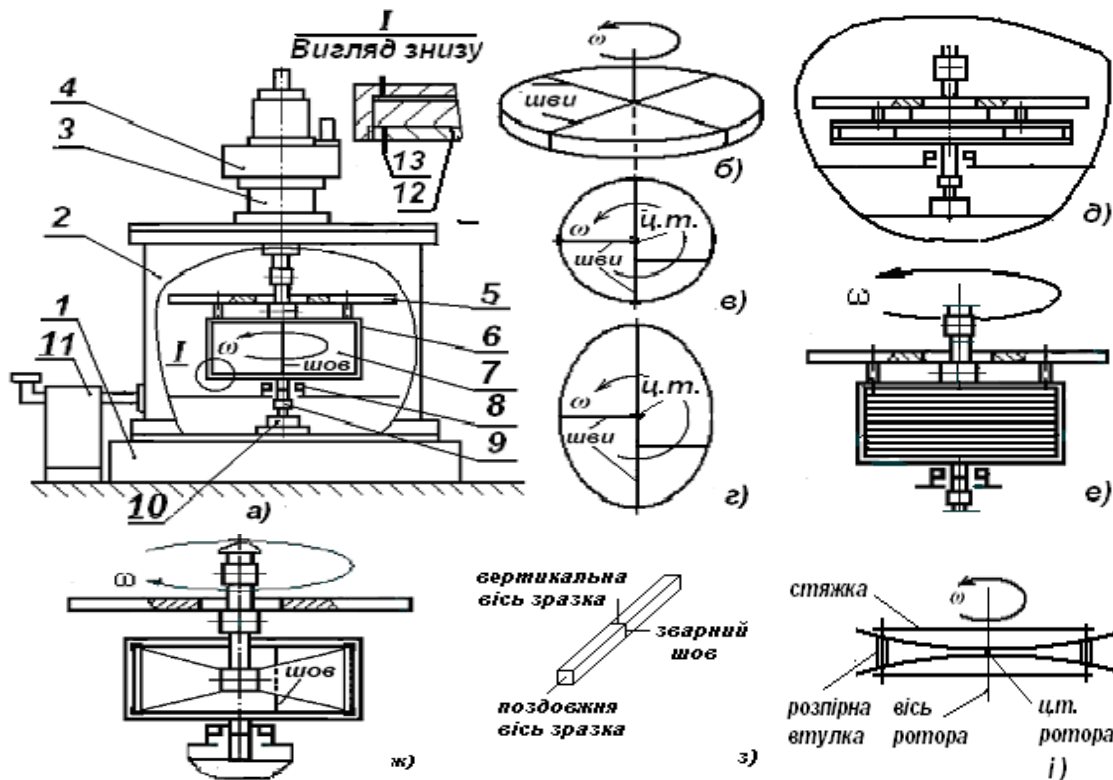


Рис.1. Схеми елементів конструкції дослідницьких установок та досліджуваних зразків

Якщо використати для виготовлення зразків стандартну вирізку 600 мм на 600 мм з труби нафтопровода, наприклад діаметром 1420 мм з товщиною стінки 20 мм, то з неї можна виготовити партію поздовжніх зразків робочою довжиною  $l \leq 600$  мм і перерізом  $bh \approx 20 \times 20$  мм<sup>2</sup>. Осі зразків паралельні осі труби, а вісь досліджуваного поперечного шва труби перпендикулярна осям зразків і пересікає їх в геометричному і масовому центрі (рис.1, з, е).

Передбачене дослідження міцності поздовжніх швів трубопроводів на вузьких дугоподібних зразках при їх довжині  $l \leq 600$  мм і перерізі 20 на 20 мм<sup>2</sup> (одновісний розтяг) та широких дугоподібних зразках з поперечними та поздовжніми швами, які встановлюються парами, їх спільний центр тяжіння розміщений на вертикальній осі ротора, а поздовжні осі зразків паралельні вертикальній осі ротора. Таких пар можна

установити кілька. Для виключення вигину дугоподібних зразків в парах відцентровими силами використовуються розпірні втулки та стяжки між втулками (рис.1, *i*).

**Відцентрова установка для дослідження міцності зразків матеріалів зварних труб при плоскому напруженому стані.** Зразки для вказаних досліджень виготовляються з вирізок труб, що включають осеві та поперечні шви одночасно і мають дугоподібну форму (рис. 1, *i*). Досліджується напружений стан в точці, в якій пересікаються осі осевого та поперечного швів, і яка являється найбільше навантаженою. Форма зразків в плані визначається розрахунком (рис. 1, *z*) і забезпечує генерацію рівня колових та меридіональних напружень, які досягаються в матеріалах реальних трубопроводів. Руйнування зразка повинно починатися в цій точці при досягненні границі малоциклової втоми. Зразки установлюються в спеціальній касеті, яка забезпечує їх двовісне навантаження відцентровими силами при обертанні навколо вертикальної осі без використання захватних пристроїв. В касету можливо установити в робочому положенні вздовж осі ротора 2–3 пари зразків, які будуть навантажуватись в однакових силових і часових режимах. Для виключення вигину дугоподібних зразків відцентровими силами також використовуються розпірні втулки та стяжки між втулками (рис. 1, *i*).

В обох установках корпуси касет герметизуються кришками 12 (рис. 1, *a*) і їх порожнини через спеціальні штуцери 13 (рис. 1, *a*, вигляд знизу) можна наповнювати рідиною, дія якої на напружений матеріал зразків в умовах малоциклового навантаження досліджується на установках.

Якщо передбачені дослідження напруженого стану зразків при підвищеній температурі робочого середовища, касети обладнаються електронагрівальними елементами і регуляторами температури.

Для зменшення витрати енергії на обертання роторів довільної форми в герметичній камері 2 стенду (рис. 1, *a*) вакуумним насосом 11 створюється розрідження повітря до рівня залишкового тиску, що відповідає висоті ртутного стовпчика 1-2 мм. Для виключення інтенсивного випаровування рідини в герметичній касеті в умовах розрідження, її порожнина герметизується і через гнучкий трубопровід, що проходить по осі пустотілого валу несучої системи, з'єднується з атмосферним середовищем.

Привод установок забезпечується високошвидкісними двигунами постійного струму через мультиплікатор 4 до максимальної частоти обертання 25 тис. об/хв. Для збільшення частоти обертання використовується мультиплікатор з більшим передавальним числом. Сигнали про появу і розвиток тріщин від дротинних датчиків на зразках 7 подаються до оператора через струмознімач 10. Конструкцією стенда передбачена можливість досліджувати міцність матеріалів при плоскому напруженому стані і з рівно компонентними складовими напружень, наприклад на плоских зразках, на зразках, вирізаних з ємностей сферичної форми.

Установки працюють в режимі: розгін ротора, що включає платформу, та касету із зразками, до швидкості обертання, яка викликає навантаження матеріалу зварного шва на максимальному рівні циклу, витримка при вказаній частоті обертання, гальмування ротора до повної зупинки або мінімальної завданої швидкості обертання ротора, витримка при цій частоті обертання і повторне відтворення циклу.

При появі тріщин в тілі зразка, зразок може видовжуватись, що викличе розбалансування ротора. Сигнал датчика про величину розбалансу зразків подається на пульт оператора і при досягненні критичного значення стенд зупиняється, розбирається касета і виконується коректує балансуюча та контроль за станом досліджуваних швів зразків з використанням мікроскопів.

Для документування процесу випробувань зразків швів записуються діаграми параметрів кожного циклу силового навантаження і температури. [9]

**Висновок.** У статті представлені дослідницькі стенди для випробування міцності матеріалів труб і зварних швів трубопроводів з використанням зразків матеріалів та натурних труб (укорочених) під дією статичних, малоциклових і динамічних навантажень при одновісному і плоскому напружених станах та проаналізовано вплив агресивного середовища. Представлений детальний опис і характеристики роботи установок. Використання таких пристроїв дасть можливість проводити поточну діагностику стану трубопроводів на міцність і при їх виробництві, і в процесі експлуатації та попереджати початок процесу руйнування, тобто передбачати втрату енергоносія і запобігати екологічним катастрофам.

#### Список використаної літератури:

1. Камінський Б.Т. Хімія води і водних розчинів / Б.Т. Камінський, Б.М. Федішин / за ред. Б.Т. Камінського. – Житомир : ЖІТІ, 2000. – 419 с.
2. Тараєвський О.С. Оцінка на міцність працездатності кільцевих зварних з'єднань труб із корозійними дефектами / О.С. Тараєвський // Нафтогазова галузь України. – 2013. – № 6.
3. Обоснование методов обследования и выбор мест шурфовки магистральных газопроводов / Б.Е. Патон, А.Я. Недосека, С.К. Фомичев, М.А. Яременко // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 1999. – № 1. – С. 3–11.
4. Савула Р.С. Оцінка залишкової міцності ділянок магистральних газопроводів з дефектами / Р.С. Савула, С.В. Харченко, А.О. Кичма // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2012. – № 2 (32).

5. Механіка руйнування та міцність матеріалів : посібник : в т. Т. 11 : Міцність і довговічність нафтогазових трубопроводів і резервуарів / Г.М. Никифорчин, С.Г. Поляков, В.А. Черватюк та інші ; під заг. ред. В.В. Панасюка ; під ред. Г.М. Никифорчина. – Львів : «Сполом», 2009. – 504 с.
6. Чувильдеев В.Н. Влияние старения на эксплуатационные свойства сталей магистральных газопроводов : сборник трудов научно-практического семинара «Проблемы старения сталей магистральных трубопроводов» (Нижегород, 23–25 января 2006 г.) / НИФТИ ННГУ им. Н.И. Лобачевского. – Новгород : «ФФПК МЕЛАКС», 2006. – С. 18–68.
7. Пат. 30794 Україна. Розгінний стенд для дослідження міцності обертових супермаховиків : патент України на корисну модель / М.А. Колодій ; заявник та патентовласник Житомирський державний технологічний університет. – заявл. 11.03.2008, Бюл. № 5.
8. Пат. 52493 Україна. Відцентровий стенд для випробування на розтягання зразків крихких гірських порід та інших крихких матеріалів : патент України на корисну модель / М.А. Колодій ; заявник та патентовласник Житомирський державний технологічний університет. – заявл. 25.08.2010, Бюл. № 16.
9. Балюк А.Д. Установка для исследования прочности материалов сварных труб продуктопроводов при малоцикловогом навантаженні при дії корозійного середовища / А.Д. Балюк, М.А. Колодій // Тези XXXVI науково-практичної міжвузівської конференції присвяченої Дню науки. – 2011, 12–13 травня.

#### References:

1. Kaminskyi, B.T. and Fedyshyn, B.M. (2000), *Khimiia vody i vodnykh rozchyniv*, in Kaminskyj, B.T. (ed.), ZhITI, Zhytomyr, 419 p.
2. Taraievskiy, O.S. (2013), «Otsinka na mitsnist pratsezdannosti kiltsevykh zvarnykh ziednan trub iz koroziiynykh defektamy», *Naftohazova haluz Ukrainy*, No. 6.
3. Paton, B.E., Nedoseka, A.Ya., Fomichev, S.K. and Yaremenko, M.A. (1999), «Obosnovanie metodov obsledovaniya i vybor mest shurfovki magistralnykh gazoprovodov», *Tekhnicheskaya diagnostika i nerazrushayushchiy control*, No. 1, pp. 3–11.
4. Savula, R.S., Kharchenko, Ye.V. and Kychma, A.O. (2012), «Otsinka zalyshkovoї mitsnosti dilianok mahistralnykh hazoprovodiv z defektamy», *Naukovyi visnyk IFNTUNH*, No. 2 (32).
5. Nykyforchyn, H.M., Poliakov, S.H., Chervatiuk, V.A. and others (2009), *Mekhanika ruinvannia ta mitsnist materialiv*, posibnyk, in volumes, *Mitsnist i dohovichnist naftohazovykh truboprovodiv i rezervuariv*, Vol. 11, in Panasiuk, V.V. and Nykyforchyn, H.M. (ed.), Spolom, Lviv, 504 p.
6. Chuvildeev, V.N. (2006), «Vliyanie stareniya na ekspluatatsionnye svoystva staley magistralnykh gazoprovodov», sbornik trudov nauchno-prakticheskogo seminar, *Problemy stareniya staley magistralnykh truboprovodov*, vid 23–25 yanvarya, NIFTI NNGU im. N.I. Lobachevskogo, FFPK MELAKS, Nizhniy Novgorod, pp. 18–68.
7. Kolodii, M.A., Zhytomyr's'kyj derzhavnyj tehnologichnyj universytet (2008), *Rozghinnyi stend dlia doslidzhennia mitsnosti obertovykh supermakhovyktiv* [An accelerating booth for studying the strength of rotary supermajokov], State Register of Patents of Ukraine, Kyi'v, UA, Pat. № 30794.
8. Kolodii, M.A., Zhytomyr's'kyj derzhavnyj tehnologichnyj universytet (2010), *Vidsentroyvi stend dlia vyprobuvannia na roztiannia zrazkiv krykhkykh hirs'kykh porid ta inshykh krykhkykh materialiv* [Centrifugal test bench for testing stretch samples of fragile rocks and other fragile materials], State Register of Patents of Ukraine, Kyi'v, UA, Pat. № 52493.
9. Baliuk, A.D. and Kolodii, M.A. (2011), «Ustanovka dlia doslidzhennia mitsnosti materialiv zvarnykh trub produktoprovodiv pry malotsyklovomu navantazheni pry dii koroziiinoho seredovyshcha», *Tezy XXXVI naukovo-praktychnoi mizhvuziv's'koi konferentsii prysviachenoi Dniu nauky*, vid 12–13 travnia.

**Колодій Марина Анатоліївна** – старший викладач кафедри розробки родовищ корисних копалин ім. проф. Бакка М.Т. Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- дослідження міцності деталей машин,
- крихких гірських порід та інших крихких матеріалів.

E-mail: kgt\_kma@ztu.edu.ua.

**Скиба Галина Віталіївна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- моніторинг якості об'єктів навколишнього середовища;
- нанотехнології.

E-mail: skybagalyana26@gmail.com.

Стаття надійшла до редакції 16.10.2017.