

### Войтович В.В., Шостак В.В. Структура ремонтного цикла горизонтального ленточнопильного станка

В основе проблемы управления техническим состоянием станков при эксплуатации лежит разработка научно обоснованной структуры ремонтного цикла. Описаны результаты моделирования методом Монте-Карло изменения технического состояния станка как сложной ремонтируемой системы. Определено уравнение регрессии параметра потока отказов станка как функции от времени его оперативной работы. Обоснована структура ремонтного цикла и его параметры. Рекомендовано продолжительность межосмотровых, межремонтных периодов и продолжительность ремонтного цикла.

**Ключевые слова:** ленточнопильный станок, структура ремонтного цикла, параметр потока отказов, моделирование, ремонт, оптимизация.

### Vojtovich V.V., Shostak V.V. The Structure of the Repair Cycle of Horizontal Band Saw

The basis of the problem of controlling machine-tools technical state during their exploitation is the development of the scientifically confirmed structure of repair cycle. The results of design using Monte Carlo method of change of the technical state of machine-tool are described as a difficult system. The equation of regression parameter of stream of machine-tool refusals as functions of time of machine-tool functioning is proposed. The structure of repair cycle and its parameters are justified. Optimum duration of periods between reviews and repairs and rational duration of repair cycle is recommended.

**Keywords:** the band saw, machine-tool, repair cycle structure, parameter of stream of refusals, design, repair, optimization.

УДК 621.643

*Проф. Л.Я. Побережний, д-р техн. наук;  
асист. А.В. Грицанчук, аспір.; викл., полковник В.В. Грицанчук –  
Івано-Франківський НТУ нафти і газу*

### ВПЛИВ ГАЗОГІДРАТІВ НА ДОВГОВІЧНІСТЬ СТАЛІ ТРУБОПРОВОДУ

Однією з найменш вивченою корозією є корозія під дією газових гідратів. Ця корозія належить до точкової корозії, яка часто спостерігається як у нейтральному, так і в кислому середовищах. Її дуже складно виявити. Проаналізовано сортамент трубних сталей і відібрано для експериментальних досліджень впливу газових гідратів на внутрішню поверхню зразки, вирізані з трубопроводу сталі 20. Встановлено реальні фізико-механічні характеристики трубної сталі і показано, що вони за деякими показниками на 20-30 % нижчі за подані в сертифікаті, що зумовлено впливом способу виробництва безшовних металевих труб.

**Ключові слова:** внутрішньотрубна корозія, експлуатаційна деградація, корозійна втома, залишковий ресурс трубопроводу.

**Вступ.** Значна частка у забрудненні довкілля та негативному впливі на екологічну ситуацію належить світовому паливно-енергетичному комплексу, і його частині – паливно-енергетичному комплексу України. Однією з багатьох причин погіршення екологічної ситуації є відмови та аварії нафто- та газопроводів. У зв'язку зі старінням газотранспортної мережі та послабленням державного контролю за її безпекою останніми роками, на жаль, спостерігається збільшення кількості аварій на газопроводах України (розрив труб через просідання ґрунту; утворення корозійних щілин; деформація трубопроводів, спричинена зсувами, повеннями тощо).

Одним із шляхів підвищення екологічної безпеки газотранспортної системи України є комплексний захист газопроводів від корозії, розроблення якого неможливе без докладного вивчення механізмів і встановлення основних закономірностей корозійного та корозійно-механічного руйнування. Одним з негативних чинників газонафто-транспортної системи є внутрішньотрубна корозія промислових трубопроводів.

Корозія є причиною майже 50 % всіх аварій трубопроводів. Корозія – це хімічна чи електрохімічна реакція між матеріалом, зазвичай металом, та його навколишнім середовищем. Корозія спричиняє погіршення характеристик металу. Оскільки газотранспортна система України, як об'єкт керування, дуже складна, важливою є взаємодія диспетчерських служб зарубіжних газотранспортних компаній у питаннях оптимізації роботи транзитних газопроводів та підвищення їх надійності.

Одним із шляхів підвищення екологічної безпеки газотранспортної системи України є комплексний захист газопроводів від корозії. Корозія внутрішньої стінки газопроводу означає присутність значних парціальних тисків  $\text{CO}_2$  та/чи  $\text{H}_2\text{S}$  [1]. Це відбувається тоді, коли стінка труби зазнає впливу води та забруднювачів у газі, таких як: кисень ( $\text{O}_2$ ), дігидросульфід ( $\text{H}_2\text{S}$ ), двоокис вуглецю ( $\text{CO}_2$ ) чи хлорид-іон ( $\text{Cl}^-$ ). З погляду вагового відсотка чи масової частки,  $\text{O}_2$  розчиняється більше відносно звичайної сталі, порівняно з  $\text{CO}_2$  чи  $\text{H}_2\text{S}$ . Хоча ймовірність присутності значних концентрацій  $\text{O}_2$  всередині газопостачального трубопроводу є досить низькою, навіть маленький парціальний тиск  $\text{O}_2$  може стати причиною високої швидкості розвитку корозії у сталевих трубах.

Корозія зазвичай класифікують за трьома основними категоріями. До першої групи відносять ті, які легко ідентифікуються під час візуальної перевірки (рівномірна корозія, локалізована корозія та електрохімічна корозія). До другої групи належать ті види корозії, для ідентифікації яких потрібне подальше вивчення (ерозійна корозія, кавітаційна корозія, міжкристалічна корозія та безсплавна корозія). До третьої групи належать корозія з розтріскуванням та корозія, що виникає під дією високої температури.

Однією з найменш досліджених є корозія під дією газових гідратів. Газові гідрати відносять до нестехіометричних клатратних сполук, в яких один компонент ("господар" – рідина) утворює структуру, що містить у своїх порожнинах інший компонент ("гість" – газ) [2]. Здатність утворювати гідрати мають багато газів, леткі органічні рідини, а також їх подвійні і багатокомпонентні суміші. Газові гідрати утворюються за високого тиску і низької температури внаслідок фізичного поєднання молекул води і деяких малих молекул рідких вуглеводнів, таких як метан, етан, пропан та мають льодоподібну форму з кристалічною ґраткою, характерною для твердих речовин.

Утворення гідратів починається з маленьких частинок, які скупчуються та утворюють більші шматки [3], які з часом твердіють у лініях транспортування, що спричинить часткову або повну закупорку внутрішньої частини газопроводу, і якщо швидко її не видалити, то це приведе до зростання тиску всередині труби і до можливої аварії. Гідрати можуть ініціювати певні види внутрішньої

корозії газопроводів. Ця корозія належить до точкової корозії, яка часто спостерігається як у нейтральному, так і в кислому середовищах. Її дуже складно виявити, передбачити чи попередити на стадії конструювання трубопроводу. У процесі її перебігу продукти корозії покривають порожнини, таким чином, дуже легко не помітити маленьку вузьку точку. Однак ця маленька точка може зруйнувати структуру цілого трубопроводу.

Ця проблема є різнобічною через фізичні та хімічні процеси, які залежать від розміру утвореного гідрату, стадії та періоду його контакту з трубопроводом, внаслідок якого відбувається руйнування захисних плівок на поверхні. Кислотні гази, такі як  $H_2S$ ,  $CO_2$ , які є компонентами під час утворення газогідратів, взаємодіючи з водою, сприяють пришвидшенню внутрішньої корозії газопроводів. Існує висока ймовірність, що наявні газові гідрати встигають спричинити розвиток корозії у трубопроводах ще до моменту їх вилучення.

На сьогодні вживають різноманітних заходів для профілактики утворення пробок гідратами у системі трубопроводів. Зокрема, підтримують відповідні температуру і тиск, які унеможливають утворення гідратів, та вводять антифризи (метанол, етанол, моноетиленгліколь (МЕГ)). МЕГ вводять у газ як антифриз, і він проходить з газом по трубопроводній системі, щоб змінити його теплову енергію внаслідок теплопередачі, таким чином запобігаючи його замерзанню. Але водночас ці інгібітори (метанол, етанол, моноетиленгліколь (МЕГ), диетиленгліколь (ДЕГ), триетиленгліколь (ТЕГ)) є екологічно небезпечними та з великою імовірністю можуть завдати шкоди навколишньому середовищу [4].

Однак всі типи інгібіторів можуть значною мірою зменшити температуру гідратуутворення, але повністю запобігти утворенню вони не здатні. Гідрати все одно утворюються, оскільки температура в газопроводі продовжує падати. Це неминує в холодних регіонах та морських трубопроводах, де температура морської води змінюється в межах від  $-1^{\circ}C$  до  $+6^{\circ}C$ . Загалом, питанню утворення газогідратів у промислових трубопроводах, що є великою проблемою експлуатації промислових газопроводів, потрібно приділити значну увагу, щоб унеможливити аварійні ситуації. Зараз розпочато роботу із фізичного та математичного моделювання процесів гідратуутворення у трубопроводах.

**Матеріали та методи.** Сконструйовано та експериментально перевірено роботу дослідного реактора (рис. 1, а), синтезовано газові гідрати метану (рис. 1, б) та оптимізовано термобаричні умови їх отримання з урахуванням експлуатаційних тисків і температур. У ньому зразки матеріалу трубопроводу витримують за різними схемами для точнішого моделювання експлуатаційних умов.

Схеми витримки зразків такі:

1. Зразок нерухомо закріплюють над поверхнею підтоварної води, після чого створюють робочий тиск і температуру, достатні для утворення гідратів.
2. Аналогічно схемі 1 тільки після утворення гідрату на поверхні зразка додатково вмикають генератор механічних коливань реактора, такий спосіб випробувань дає змогу краще оцінити вплив гідрату за наявності великого вмісту підтоварної води в умовах істотної турбулентності газоводяного потоку.

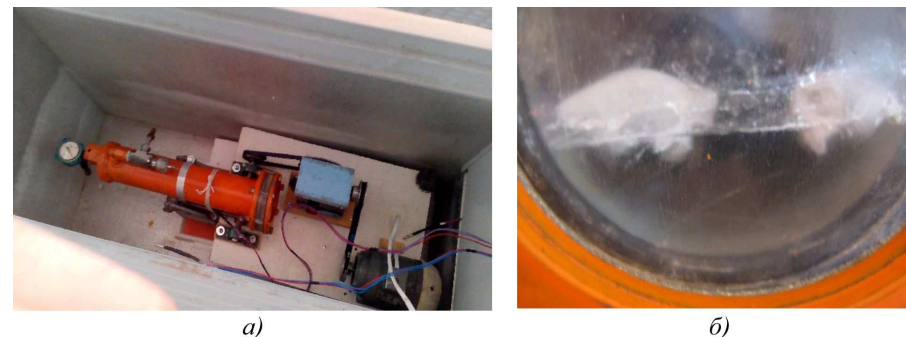


Рис. 1. Установка для синтезу газогідратів (а), синтезований гідрат метану (б)

**Результати.** Проведено дослідження впливу газогідратів на матеріал трубопроводу за двома схемами витримки. Показано, що в разі витримки за схемою 2, корозія зразка має рівномірний характер, тоді як за схемою 1 чітко видно локалізацію корозійних уражень у точках кристалізації і дисоціації гідрату (рис. 2). Корозійні ураження в цьому випадку набагато слабші, однак наявність значної локалізації свідчить, що такий вид газогідратної корозії є значно небезпечніший.



Рис. 2. Характер корозійних уражень після витримки в гідраті протягом 7 днів за схемою 1) верхній зразок, за схемою 2) нижній зразок

На практиці внаслідок турбулентності під час транспортування вологого газу промисловими газопроводами будемо мати поєднання двох описаних механізмів газогідратної корозії. На цей час проведено втомні випробування на зразках, виконаних зі сталі 20, яку було експлуатовано протягом 20 років, та проведено порівняння отриманих даних з раніше отриманими результатами для сталі 20 у стані поставки [5]. Дослідження підтвердили зменшення довговічності контрольних зразків деградованої сталі 20 у 1,3-2,5 разів (рис. 3), що свідчить про потребу урахування цього ефекту під час оптимізації режимів експлуатації та оцінювання залишкового ресурсу промислових газопроводів.

**Обговорення результатів.** Втомні випробування зразків після витримки в газогідраті показали відчутне зменшення довговічності (у 1,5-2,5 разів), причиною якого, на нашу думку, є збільшення дефектності поверхні зразків внаслідок агресивної дії газогідратів, яка призводить до утворення локалізо-

ваних корозійних уражень, що слугують концентраторами напружень, полегшуючи ініціацію та розвиток тріщин у сталі трубопроводу. Таке зменшення довговічності співмірне із впливом на метал 3 %-го розчину NaCl, що підтверджує істотну агресивну дію газогідратів на матеріал труби. Не варто забувати також про зменшення його пластичності внаслідок експлуатаційної деградації, яка зумовлює зниження показників тріщиностійкості, супроводжується наводненням металу та нагромадженням розсіяного пошкодження в об'ємі [6].

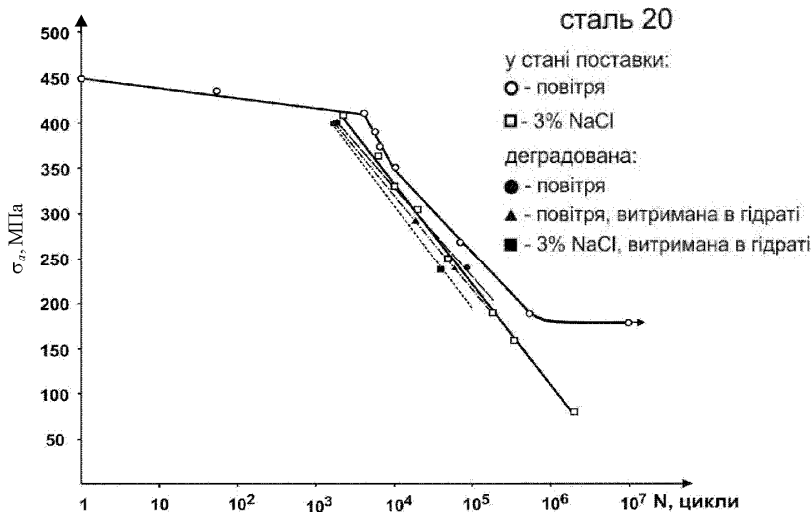


Рис. 3. Криві втомні і корозійної втомні сталі 20

Синергічна дія корозійного та механічного чинників за таких умов є особливо небезпечною та потребує докладного вивчення. Надалі необхідно проводити корозійно-втомні випробовування зразків, витриманих у газогідратному середовищі у модельних розчинах, склад яких відповідатиме складу підтоварної води. Такий експеримент зможе достатньо коректно відтворити експлуатаційні навантаження та впливи, а за його результатами можна буде прогнозувати ресурс та залишковий ресурс роботи газопроводу на ділянках з підвищеним скупченням газогідратних пробок.

**Висновки.** Досліджено вплив газогідратів на матеріал трубопроводу (сталь 20) після 20 років експлуатації. Встановлено реальні фізико-механічні характеристики трубною сталі у стані поставки і показано, що вони за деякими показниками на 20-30 % нижчі за подані в сертифікаті, що зумовлено впливом способу виробництва безшовних металевих труб.

Проведено втомні випробовування матеріалу трубопроводу після витримки у газогідраті за двома схемами та показано істотний вплив газогідратів на довговічність сталі трубопроводу. Зменшення довговічності сягає 1,5-2,5 разів і має враховуватися під час оцінювання залишкового ресурсу та оптимізації режимів експлуатації тривалоексплуатованих трубопроводів.

Надалі необхідно вивчити вплив часу експозиції та кількості циклів "утворення-розпаду" газогідратів на швидкість і характер корозійних процесів. Особливу увагу планується приділити взаємодії компонентів інгібіторів корозії та інгібіторів гідратоутворення з метою оптимізації їх вибору та досягнення максимального синергічного ефекту.

Потрібно також особливу увагу звернути на підвищення рівня екологічної безпеки під час видобутку та транспортування нафти і газу, шляхом розроблення комплексної системи корозійного моніторингу трубопроводів.

### Література

1. Obanijesu E.O.. – Corrosion Education as a Tool for the Survival of Natural Gas Industry / E.O. Obanijesu, V. Pareek, R. Gubner, M.O. Tade // *NAFTA Journal*. – 2010. – Year 61, No 12. – Pp. 541-554.
2. Makogon Y.F. Hydrates of Hydrocarbons. Tulsa, Oklahoma / Y.F. Makogon // Pennwell publishing company, 1997. – 477 p.
3. Макогон Ю.Ф. Газовые гидраты, предупреждение их образования и использование / Ю.Ф. Макогон. – М.: Изд-во "Недра", 1985. – 232 с.
4. Истомин В.А. Предупреждение и ликвидация газовых гидратов в системах сбора и промышленной обработки газа и нефти / В.А. Истомин. – М.: Изд-во "Наука", 1990. – 214 с.
5. Крижанівський Є.І. Деформаційна поведінка сталі трубопроводу при низькочастотній трибофатикі, 23-27 вересня 2002 р., Тернопіль (Україна) / відп. ред. В.Т. Трошенко. – Тернопіль: Вид-во ТДТУ ім. Івана Пулюя. – 2002. – Т. 1. – С. 296-300.
6. Крижанівський Є. Розсіяна пошкодженість і деградація властивостей сталей нафтових та газових трубопроводів / Є. Крижанівський, Г. Никифорчин // *Вісник ТНТУ*: зб. наук. праць. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ ім. Івана Пулюя. – 2011. – Спецвип.: ч. 1. – С. 30-36.

### *Побережний Л.Я., Грицанчук А.В., Грицанчук В.В. Влияние газогидратов на долговечность стали трубопровода*

Одной из наименее изученной коррозией является коррозия под действием газовых гидратов. Данная коррозия относится к точечной коррозии, которая часто наблюдается как в нейтральной, так и в кислой среде. Ее очень сложно выявить. Проанализирован сортмент трубных сталей и отобраны для экспериментальных исследований влияния газовых гидратов на внутреннюю поверхность образцы, вырезанные из трубопровода стали 20. Установлены реальные физико-механические характеристики трубной стали и показано, что они по некоторым показателям на 20-30 % ниже представленных в сертификате, что обусловлено влиянием способа производства бесшовных металлических труб.

**Ключевые слова:** внутритрубная коррозия, эксплуатационная деградация, коррозионная усталость, остаточный ресурс трубопровода.

### *Poberezhny L.Ya., Hrytsanchuk A.V., Hrytsanchuk V.V. The Influence of Hydrates on Durability of Steel Pipelines*

One of the least studied is corrosion under the influence of gas hydrates. This relates to corrosion pitting, which is often seen both in fresh and in the acidic environment. This corrosion is difficult to detect. The assortment of pipe steels is analysed, and also some samples cut from steel 20 tubes are selected for experimental studies of the impact of gas hydrates on the internal surface of the pipeline. Real physical and mechanical properties of steel pipe are established. It is shown that they are in some indicators 20-30 % lower than given in the certificate, due to the influence of the mode of production of seamless steel pipes.

**Keywords:** in tube corrosion, exploitation degradation, corrosion fatigue, pipeline remaining resource.