

## СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБСЛУГОВУВАННЯ, РЕМОНТУ ТА РЕКОНСТРУКЦІЇ ПІДВОДНИХ ГАЗОНАФТОПРОВОДІВ

Я.В. Дорошенко, Т.І. Марко, С.І. Тихонов

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42157,  
e-mail: snp@nimg.edu.ua

Наведено тренди сьогодення з технічного обслуговування, ремонту та реконструкції підводних переходів газонафтопроводів через природні і штучні водойми, шельфових та морських газонафтопроводів. Розглянуто сучасні методи виявлення розмитих ділянок підводних газонафтопроводів, технології ремонту ізоляційного покриття під водою, новітні ізоляційні матеріали для підводного ізолювання трубопроводів. Проаналізовано інноваційні технології підсипання і закріплення розмитих, недостатньо заглиблених ділянок підводних трубопроводів та виділено найефективніші з них.

Авторами розглянуто інноваційні технології, які можуть бути застосовані для ремонту дефектів стінки труби прибережних та руслових ділянок підводних газонафтопроводів. Це система Aqua-Barrier, яка виконує роль портативної тимчасової дамби, що слугує для вивільнення робочого простору незначної площі від води і дає змогу осушити ділянку глибиною до 1,8 м, шахтні колодязі та кесони, в яких заварюють корозійні дефекти, установлюють муфти, замінюють дефектні ділянки газонафтопроводів, герметизуючі і наповнюючі металеві муфти, композитні муфти, піднімання трубопроводу над поверхнею води, протягування в дефектний трубопровід трубопроводу меншого діаметра (спосіб «труба в трубі»). Запропоновано технологію внутрішньотрубного ремонту важкодоступних ділянок підводних трубопроводів, підводних переходів газонафтопроводів прокладених способом похило-скерованого буріння, мікротунелювання. Визначено випадки, коли доцільно застосовувати ту чи іншу технологію ремонту, наведено їх конструктивні особливості, переваги і недоліки та запропоновано конструктивні рішення, для подолання ускладнень, які можуть виникнути під час їх застосування.

Ключові слова: обслуговування, ремонт, реконструкція, підводний газонафтопровід, розмиті ділянки, підсипання, закріплення, ізоляційні матеріали, портативна тимчасова дамба, шахтний колодязь, кесон, муфта, піднімання трубопроводу над поверхнею води, спосіб «труба в трубі», внутрішньотрубний ремонт.

Приведены тренды технического обслуживания, ремонта и реконструкции подводных переходов газонефтепроводов через естественные и искусственные водоемы, шельфовых и морских газонефтепроводов. Рассмотрены современные методы выявления размывов участков подводных газонефтепроводов, технологии ремонта изоляционного покрытия под водой, новейшие изоляционные материалы для подводной изоляции трубопроводов. Проанализированы инновационные технологии подсыпки и закрепления размывов, недостаточно углубленных участков подводных трубопроводов и указаны наиболее эффективные.

Авторами рассмотрены инновационные технологии, которые могут быть применены для ремонта дефектов стенки трубы прибрежных и русловых участков подводных газонефтепроводов. Это система Aqua-Barrier, выполняющая роль портативной временной дамбы, с целью освобождения рабочего пространства незначительной площади от воды, позволяющая осушить участок глубиной до 1,8 м; шахтные колодцы, кессоны, в которых заваривают коррозионные дефекты, устанавливают муфты, заменяют дефектные участки газонефтепроводов; герметизирующие и наполняющие металлические муфты, композитные муфты, подъем трубопровода над поверхностью воды, протягивание в дефектный трубопровод трубопровода меньшего диаметра (способ «труба в трубе»). Предложена технология внутритрубного ремонта труднодоступных участков подводных трубопроводов, подводных переходов газонефтепроводов, проложенных способом наклонно-направленного бурения, микротоннелирования. Определены случаи в которых целесообразно применять ту или иную технологию ремонта, приведены их конструктивные особенности, преимущества и недостатки, предложены конструктивные решения, которые позволяют устранить осложнения возникающие при их применении.

Ключевые слова: обслуживание, ремонт, реконструкция, подводный газонефтепровод, размывы участки, подсыпка, закрепление, изоляционные материалы, портативная временная дамба, шахтный колодец, кесон, муфта, подъем трубопровода над поверхностью воды, способ «труба в трубе», внутритрубной ремонт.

The present trends of maintenance, repair and reconstruction of underwater passages of oil and gas pipelines through natural and artificial reservoirs, offshore oil and gas pipelines were analyzed. The modern detection methods of waterworn sections in underwater oil and gas pipelines, the repair techniques of insulating covering under water and new pipeline underwater insulation materials were studied. The analysis of innovative technologies of addition and fixation of the waterworn, insufficiently buried sections of underwater pipelines were analyzed and selected the most effective ones were singled out.

The authors considered the innovative technologies that can be used to eliminate the pipe wall defects in coastal and streamway sections of underwater oil and gas pipelines. This is Aqua-Barrier system serving as a portable temporary dam; the system makes it possible to dehydrate a small working area and drain 1,8 m deep area; shaft wells, caissons, where corrosion defects are welded up and couplings are installed, replace defective areas of oil and gas pipelines. The filling and sealing metal couplings, composite couplings, pipe elevation above water, pulling a smaller diameter pipe into the defective pipeline (pipe-in-pipe method) techniques were studied. The intratubal repair technique of hard-to-get-to sections, underwater passages of directional oil and gas pipelines

*and pipelines with microtunnels was proposed for application. The cases, when it is relevant to use a certain repair technique were defined, their design features, advantage and disadvantages were considered, the constructive proposals were made to eliminate complications during application.*

Keywords: maintenance, repair, reconstruction, underwater oil and gas pipeline, waterworn sections, addition, fixation, insulating materials, portable temporary dam, shaft well, caisson, coupling, pipeline elevation above water, pipe-in-pipe, intratubal repair.

**Вступ.** Підводні газонафтопроводи (підводні переходи через водні перешкоди, шельфові і морські газонафтопроводи) є однією з найнебезпечніших, найскладніших, найдорожчих складових лінійної частини газонафтопроводів, що вимагає особливого підходу до їх технічного обслуговування, ремонту та реконструкції. Їх експлуатаційна надійність значною мірою визначає експлуатаційну надійність усієї лінійної частини газонафтопроводів.

Трендами сьогодення у ремонті підводних газонафтопроводів є акценти на технології, які забезпечують надійність та довговічність експлуатації трубопроводу і суттєво зменшують негативний вплив виробничої діяльності на довкілля.

В Україні понад 95 % підводних переходів газонафтопроводів прокладені способом укладання в підводну траншею. Такі підводні переходи, як і морські, шельфові газонафтопроводи, традиційно вважаються найнебезпечнішими ділянками нафтогазотранспортної системи. Вони перебувають в агресивному водному середовищі, можуть бути розмиті течією і провисати. Розмиті підводні переходи та укладені на дно моря трубопроводи піддаються динамічному впливу донних течій, можуть бути пошкоджені якорями суден, штормами, паводками, повеннями. Аварії, які супроводжуються витоком транспортованого продукту з пошкоджених підводних трубопроводів, призводять до важких екологічних наслідків і значних збитків.

Розробленню, аналізу технологій обслуговування, ремонту та реконструкції підводних газонафтопроводів присвячено багато праць вітчизняних та зарубіжних науковців [1-9].

В сучасних умовах старіння газонафтотранспортної системи України загалом та підводних газонафтопроводів як її найнебезпечнішої та найскладнішої складової частини, тільки своєчасна оцінка технічного стану та якісний і своєчасний ремонт, реконструкція підводних газонафтопроводів дозволять уникнути значних економічних та екологічних втрат, які будуть зумовлені аваріями. Складність, масовість, висока вартість ремонтних робіт та жорсткі вимоги, які повинні висуватися до ремонту й реконструкції таких об'єктів вимагають вирішення складних науково-технічних задач, впровадження передових досягнень сучасної науки і техніки, застосування економічних, нетрудомістких, інноваційних, смарт технологій, робототехнічних комплексів. Такі технології повинні забезпечувати можливість виконання ремонту, реконструкції, заміни дефектних ділянок підводних газонафтопроводів без технологічних втрат газу, зупинки транспортування продукту. Багато таких технологій уже розроблені і ефективно застосовуються у світовій практиці ре-

монту, реконструкції підводних газонафтопроводів. Зокрема, сьогодні відбувається розширення сфери їх застосування для вирішення складних проблем ремонту та реконструкції підводних газонафтопроводів, поєднання декількох інноваційних розробок у єдиний технологічний процес. Практично відбувається технічна революція у технічному обслуговуванні, ремонті та реконструкції підводних газонафтопроводів. Усе це створює передумови для вдосконалення концептуальних підходів до питань ремонту та реконструкції підводних газонафтопроводів України. Для цього треба вивчити передовий світовий досвід, виділити найефективніші технології та впроваджувати їх в Україні.

**Виклад основного матеріалу.** Близько 80% усіх аварійних ситуацій на підводних трубопроводах зумовлені їх розмиванням. Протяжність таких ділянок протягом року може змінюватись від 35 до 85 м. Розмивання небезпечно тим, що трубопровід не тільки провисає, а і зазнає гідродинамічної дії потоку, в результаті чого він коливається, що спричиняє руйнування футерування трубопроводу та ізоляційного покриття, збільшуються напруження в стінці труби.

Розмиті ділянки підводних газонафтопроводів виявляють ехолотами і гідролокаторами. Сучасні багатопроблені гідролокатори дають змогу отримати наочне тривимірне гідроакустичне зображення рельєфу дна і розмитих ділянок трубопроводів (рис. 1), що дає змогу наблизити визначити параметри розмивання. Для уточнення розмірів розмивання та визначення стану трубопроводу виконують водолазне обстеження під час якого уточнюють довжину розмитих ділянок, визначають величину провисання, оцінюють стан антикорозійної ізоляції, виконують підводну відеозйомку. У місцях наскрізних дефектів ізоляції оглядають зовнішню поверхню труби, вимірюють товщину стінки труби ультразвуковим дефектоскопом.

Також розмиті ділянки підводних газонафтопроводів можна виявити підводною відеозйомкою у створі підводного трубопроводу відеокамерою, поміщеною в спеціальних підводних малогабаритних телекерованих апаратах, які дають змогу виконувати підводну відеозйомку з поверхні, переміщуючи об'єкти у трьох площинах. Передавач системи установлюють на підводний телекерований апарат, і з допомогою системи супутникового позиціонування отримують координати місця відеозйомки. Спрощено підводний телекерований апарат є комплексом, який складається з відеокамери, розміщеної в герметичному корпусі, двигуна для маневрування і кабелю, який з'єднує апарат з поверхнею (рис. 2). Кабелем передається

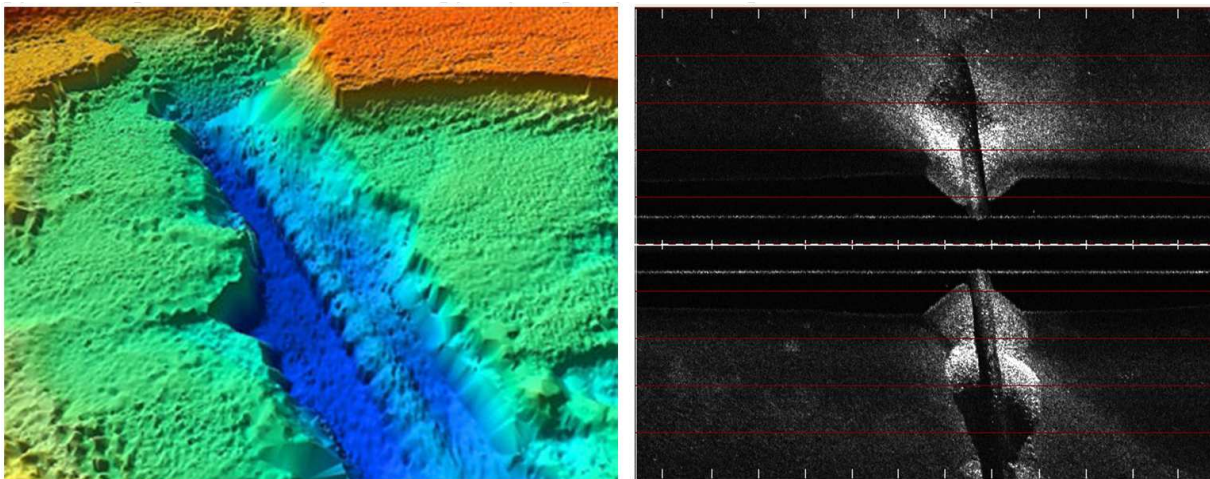


Рисунок 1 – Гідроакустичне зображення розмитих підводних трубопроводів



Рисунок 2– Підводні малогабаритні керовані апарати

відеосигнал. Керувати підводними апаратами можна з допомогою пульта ручного керування або в режимі “автопілот”, коли рухом підводного апарата керує спеціальне програмне забезпечення.

Перевагою підводних малогабаритних керованих апаратів є їх порівняно невеликі габарити і необмежене подання живлення кабелем.

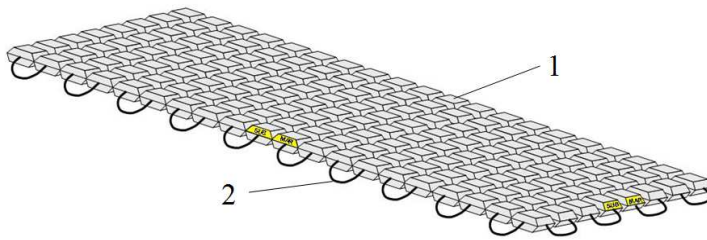
Підводні малогабаритні керовані апарати дають змогу отримати об'єктивну візуальну інформацію про стан підводних газонафтопроводів у режимі реального часу з записом на носій з метою подальшого детального аналізу. Їх ефективно застосовувати під час спорудження підводних газонафтопроводів, виконання ремонтних робіт, що дає змогу здійснювати поопераційний контроль з поверхні безпосередньо з поста керування підводним апаратом.

Для обстеження підводних газонафтопроводів на підводних апаратах крім відеокамери може бути встановлено ехолот, супутникова система позиціонування, базова станція супутникової навігації, трасошукач, ультразвуковий товщиномір, який дає змогу виміряти товщину стінки труби без очищення її зовнішньої повер-

хні, гідролокатор, вимірювачі потенціалу катодного захисту, профілограф, система збору та оброблення інформації.

На сьогодні розроблено інноваційні автономні підводні апарати, оснащені сонячними панелями, для зарядження бортових акумуляторних батарей. Такі апарати можуть застосовуватись для постійного інспектування підводних газонафтопроводів та контролю підводної обстановки біля них. Основною перевагою таких підводних апаратів є можливість довготривалої (декілька місяців) автономної роботи. Рухаючись вздовж підводного газонафтопроводу, підводний апарат збирає дані. В світлий час доби апарат знаходиться поблизу поверхні води і за допомогою сонячних панелей заряджає акумулятори, в цей час здійснюється зв'язок з береговою базою, передавання зібраної інформації і отримання нових задач.

Для запобігання руйнуванню розмитих і провислих ділянок підводних газонафтопроводів, у разі виникнення недопустимо великих моментів згину в стінці труби, їх треба підсипати. Підсипають такі ділянки підводних газонафтопроводів піщано-гравійною сумішшю, щебенем або бутовим камінням.



1 – бетонний блок; 2 – синтетичний канат

**Рисунок 3 – Універсальні гнучкі захисні бетонні мати**



а) – автокраном; б) – плавкраном

**Рисунок 4 – Укладання універсальних гнучких захисних бетонних матів**

Закріплювати підсипані, недостатньо заглиблені та оголені ділянки підводних газонафтопроводів доцільно:

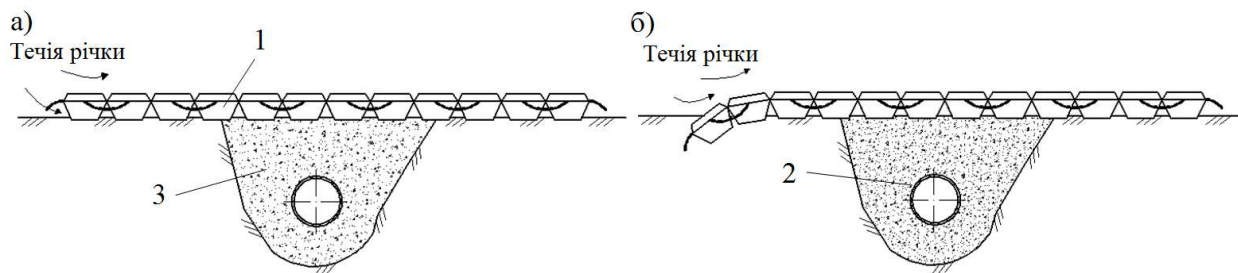
- укладанням каменів усією площею підсипаної ділянки;
- мішками з піщано-цементною сумішшю;
- універсальними гнучкими захисними бетонними матами (УГЗБМ).

Одним з найнадійніших інноваційних способів закріплення підсипаних, недостатньо заглиблених та оголених ділянок підводних трубопроводів, укріплення берегів, який фактично створив малу революцію в способах захисту трубопроводів, є укладання універсальних гнучких захисних бетонних матів, які ще називають матами рено. Універсальні гнучкі захисні бетонні мати є полотном з набору бетонних блоків з'єднаних між собою замоноличеним синтетичним канатом. Блоки виконані у вигляді двосторонніх зрізаних пірамід з прямокутною основою (рис. 3).

У периферійних блоках або між сусідніми периферійними бетонними блоками виконують монтажні петлі з синтетичного канату. За монтажні петлі універсальні гнучкі захисні бетонні мати укладають автокраном з берега (рис. 4, а) або плавкраном з берега чи барж (рис. 4, б). Якщо треба закріпити протягну

ділянку трубопроводу, укріпити береги, то за монтажні петлі універсальні гнучкі захисні бетонні мати скобами або канатами надійно зв'язують один з одним утворюючи суцільне бетонне полотно.

Конструкція універсальних гнучких захисних бетонних матів забезпечує надійне “прилипання” захисного полотна з матів до закріпленої поверхні. Більше того, на ґрунтах I, II і III категорій спостерігається ефект занурення крайніх рядів бетонних блоків у ґрунт. На рис. 5, а наведено схему течії річки, які діють на шойно укладений універсальний гнучкий захисний бетонний мат. Вихрові потоки вимивають ґрунт біля та під першим рядом бетонних блоків. Під дією сили тяжіння перший ряд блоків починає провалуватись у вимиту течією річки порожнину. В розмиту порожнину провалюється тільки передня частина першого ряду бетонних блоків, оскільки їхня задня частина з'єднана синтетичним канатом з другим рядом блоків і залишається у початковому положенні. Під час провалювання передньої частини першого ряду бетонних блоків послідовно змінюється кут нахилу бетонних блоків і відбувається зміна вихрових потоків течії води. З часом бетонні блоки приймають такий кут нахилу, що подальше розмивання дна припиняється (рис. 5, б).



а) – щойно укладений; б) – через деякий час після укладання;  
1 – універсальний гнучкий захисний бетонний мат; 2 – трубопровід; 3 – піщано-гравійна суміш

**Рисунок 5 – Схеми дії течії річки на універсальний гнучкий захисний бетонний мат**



**Рисунок 6 – Укладений на дно річки трубопровід, захищений універсальними гнучкими захисними бетонними матами**

Укладені одним полотном, універсальні гнучкі захисні бетонні мати навіть під час найсильніших течій, включаючи повені та паводки, повністю запобігають розмиванню ґрунту.

Вагомою перевагою універсальних гнучких захисних бетонних матів є те, що вони дають змогу відмовитись від влаштування траншей під час спорудження нових підводних трубопроводів. При цьому трубопровід укладається на дно, а на нього укладають мішки з піском та захисні бетонні мати (рис. 6). Кут нахилу граней двосторонньої зрізаної піраміди бетонних блоків вибирається з урахуванням діаметра трубопроводу, який треба захистити. Під час установлення на трубопровід, за рахунок змикання граней блоків, виконаних у вигляді зрізаних двосторонніх пірамід, можна влаштувати арки. Бетонні блоки, які утворюють арку, спираючись на грані один одного, не передають свою вагу на захищений трубопровід, а уся вага захисного бетонного покриття передається на прилеглі його ділянки, що розташовуються на ґрунті.

Ефективним є застосування універсальних гнучких захисних бетонних матів для закріплення морських трубопроводів у місці перетину з береговою лінією та на прибережних ділянках, де має місце інтенсивний хвильовий вплив та можливе розмивання трубопроводу припливами, інтенсивна дія на ґрунт кригою під час припливів, так звана кригова екзарцація, існує імовірність пошкоджень трубопроводу якорями. Також захисні бетонні мати є ефективні в

місцях перетинання морських трубопроводів один з одним (рис. 7, а) та в місцях перетинання морських трубопроводів кабелями (рис. 7, б). Їх легко демонтувати та повторно укласти у разі виникнення потреби ремонту трубопроводу.

Для забезпечення можливості виконання якісного ремонту дефектів стінки труби та ізоляції прибережних ділянок газонафтопроводів і ділянок у місцях перетинання трубопроводом берегової лінії, де пошкодження трубопроводу часто зумовлені інтенсивним хвильовим впливом, розмиванням ґрунту, криговою екзарцацією ефективною є інноваційна розроблена компанією Hydro-Solutions (США) система Aqua-Barrier, яка виконує роль портативної тимчасової дамби і дає змогу вивільнити робочий простір незначної площі від води.

Складається система Aqua-Barrier з ємностей (секцій), 1 виготовлених з високоміцного промислового вінілу (рис. 8, а). Кожна з ємностей 1 розділена на дві рівні половини перетиною 5 (рис. 8, б). В свою чергу, кожна половина ємності 1 має патрубки 2 для її заповнення водою під час монтажу та патрубки 3 для зливання води під час демонтажу. Монтують та демонтують ємності 1 за підймальні петлі 4, розміщені з двох протилежних сторін ємності 1. Принцип роботи системи Aqua-Barrier полягає в тому, що коли з робочого простору, який планується осушити, огороженого системою Aqua-Barrier відпомповується вода, одна з половин ємності 1 наповзає на іншу (рис. 8, в) та притискає її до дна (рис. 8, г). За рахунок сили

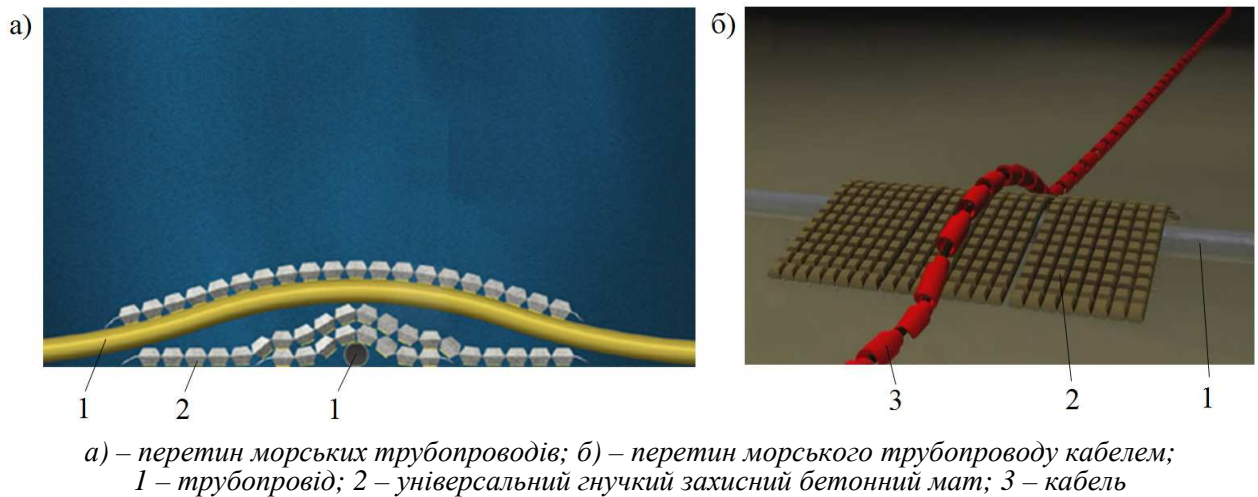


Рисунок 7 – Застосування універсальних гнучких захисних бетонних матів у місці перетину морських трубопроводів та кабелів

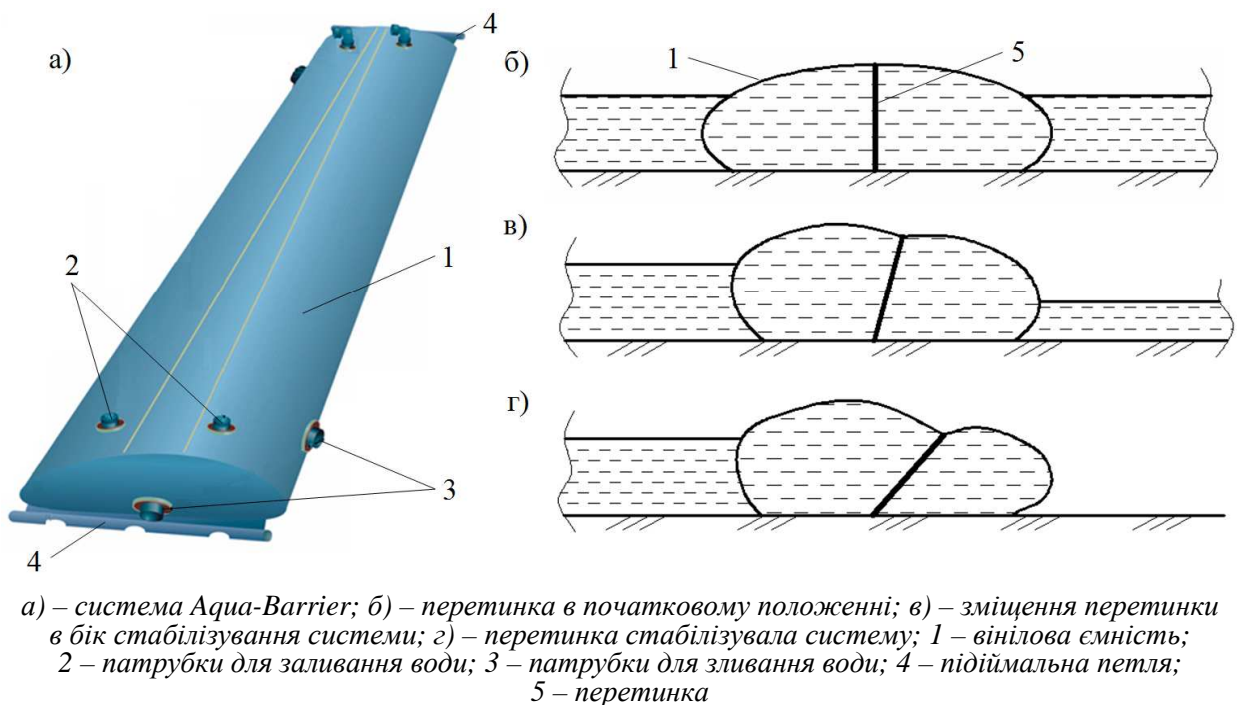


Рисунок 8 – Принцип роботи системи Aqua-Barrier

тертя та гідростатичного тиску води така ємність з перетинкою виконує роль дамби. Вінілові ємності висотою до 2,4 м дають змогу осушити ділянку глибиною до 1,8 м.

Доставляють систему Aqua-Barrier (секції дамби) на місце виконання робіт змотано у рулони (рис. 9, а). На березі рулони розмотують і кріплять канати до підйимальної петлі (рис. 9, б). Тоді розмотані рулони витягують на воду та розкладають по периметру робочого простору, який треба вивільнити від води, у попередньо визначені місця (рис. 9, в). Розкладені по периметру робочого простору рулони наповнюють водою через патрубки для заливання води. При цьому для герметичного з'єднання секцій між собою достатньо укласти їх з незначним напуском одна на іншу (рис. 9, г). Після заповнення водою усіх рулонів відкачу-

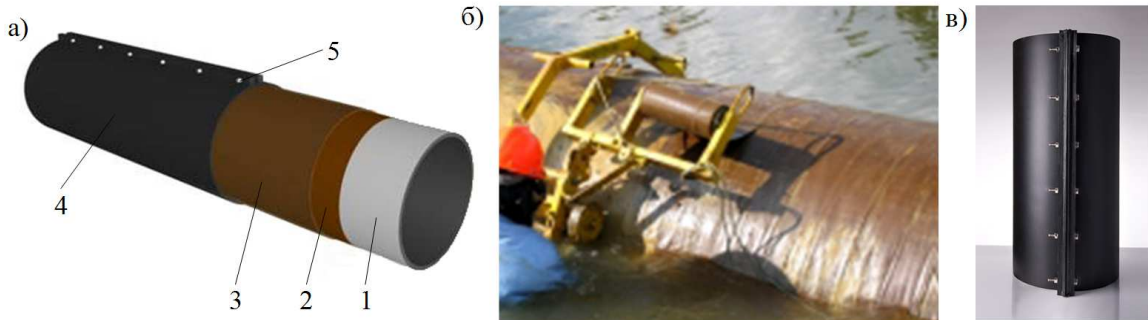
ють воду з огороженого таким чином робочого простору та розкопують дефектну ділянку трубопроводу (рис. 9, д) і її ремонтують традиційними технологіями (рис. 9, е, є). Відремонтований трубопровід засипають, закріплюють, а робочий простір заповнюють водою (рис. 9, ж). Тоді витягують з води, спорожняють і скручують в рулони систему Aqua-Barrier.

Система Aqua-Barrier уже зарекомендувала себе в США, Канаді, ЄС. Її перевагою є легкість та зручність доставляння до місця виконання робіт, простота та швидкість монтажу і демонтажу. Для монтажу та демонтажу системи Aqua-Barrier достатньо двох працівників та одноковшового екскаватора. Також вона ефективно застосовується для захисту промислових об'єктів, населених пунктів тощо від повеней, паводків.



а) – доставлена до місця монтажу система Aqua-Barrier в рулонах; б) – прикріплені до підіймальної петлі канати; в) – розкладання за периметром робочого простору системи Aqua-Barrier; г) – з'єднання секцій системи Aqua-Barrier; д) – розкопування дефектної ділянки трубопроводу; е) – ремонт трубопроводу; ж) – заповнення робочого простору водою

**Рисунок 9 – Послідовність ремонту трубопроводу в місці перетинання берегової лінії з допомогою системи Aqua-Barrier**



а) – конструкція ізоляції; б) – нанесення петролатумної стрічки намотувальним верстатом; в) – захисний кожух; 1 – трубопровід; 2 – ґрунтовка; 3 – петролатумна стрічка; 4 – захисний кожух; 5 – болтове з'єднання

**Рисунок 10 – Антикоровізна ізоляція для ізолювання підводних газонафтопроводів Sea Shield 2000HD**

Що стосується ремонту пошкодженої ізоляції підводних газонафтопроводів, то перед ремонтом ізоляційного покриття під водою потрібно видалити старе відшароване ізоляційне покриття, очистити зовнішню поверхню трубопроводу та оглянути стінку труби. Найтехнологічнішим способом очищення зовнішньої поверхні трубопроводу під водою є гідроабразивне очищення, а найтехнологічнішими антикорозійними ізоляційними матеріалами, які застосовуються для ремонту ізоляції підводних газонафтопроводів, є Sea Shield 2000HD та Chemi-Tech U.W.

Ізоляцію Sea Shield 2000HD доцільно застосовувати для ремонту ізоляційного покриття протяжних ділянок підводних трубопроводів довжиною понад 1 м, коли трубопровід треба переізолювати по усьому периметру. Також її доцільно застосовувати для ремонту ізоляційного покриття на ділянках переходів “земля-повітря” магістральних і технологічних трубопроводів, ділянках підземного прокладання з найагресивнішим впливом ґрунтів. Вона є трикомпонентна і складається з ґрунтовки, петролатумної стрічки та захисного кожуха (рис. 10, а). Кожен з компонентів виконує певну функцію.

Ґрунтовка є пластичною мастикою і містить водовитісняючі агенти, інгібітори корозії, в'язкі добавки, згущувачі на петролатумній основі. Вона може наноситися на зовнішню поверхню трубопроводу як під водою, так і на поверхні. Наносять її валиком, шпателем, щіткою або просто рукою в товстій, хімічно стійкій рукавиці не пізніше ніж через 24 години після очищення зовнішньої поверхні трубопроводу шаром будь-якої товщини, величина якого буде знівельована при нанесенні наступних двох шарів.

Армована петролатумна стрічка – це нетканий матеріал, просочений нейтральною петролатумною мастикою з інертним силікатним наповнювачем та інгібіторами корозії. Внутрішня сторона стрічки покрита тонким шаром поліетиленової плівки високої щільності. Стрічка наноситься з напуском 55 %, що дозволяє створити 2 шари покриття за одне нанесення. У такий спосіб наносять захисний шар товщиною

мінімум 2,2 мм. Якщо є можливість, то стрічку доцільно наносити спеціальним намотувальним верстатом (рис. 10, б), який дозволяє наносити покриття з напуском 55 % і забезпечити оптимальний натяг стрічки. Стрічка і ґрунтовка не полімеризуються протягом усього терміну експлуатації, а отже, водолаз не обмежений у часі і може наносити ізоляцію з максимальною якістю.

Захисний кожух (рис. 10, в) виготовлений з поліетилену високої щільності, стійкого до дії ультрафіолетових променів. Кожух забезпечує надійний захист поверхні від механічних пошкоджень, які можуть бути зумовлені переміщеннями ґрунтів та льоду, хвильовим впливом і біологічними обростаннями. Установлення захисного кожуха є останнім етапом ізолювання трубопроводу. Існують дві технології закріплення кожуха на трубопроводі – болтовими з'єднаннями і ремнями. Технологія кріплення неіржавіючими болтами надійніша і технологічніша. Вона дозволяє максимально швидко і надійно встановити кожух на підводний трубопровід. Стикування сусідніх секцій кожухів здійснюється з напуском 10 % від ширини секції. Захисний кожух щільно прилягає до петролатумної стрічки, запобігає руху води всередині кожуха, що може призвести до потрапляння кисню, корозійних агентів, сульфатовідновлюючих бактерій і морських організмів. Захисний кожух виконує функцію футеровки, якою футеровані усі дюкери.

Застосування ізоляційного покриття Sea Shield 2000HD в Україні дозволить вирішити проблему відновлення ізоляції і захисту від корозії підводних газонафтопроводів.

Ізоляція Chemi-Tech U.W. – спеціально розроблене високоефективне двокомпонентне епоксидне покриття без розчинників, яке доцільно застосовувати для ремонту невеликих пошкоджень ізоляційного покриття підводних газонафтопроводів. Основою ізоляції Chemi-Tech U.W. є спеціальні рідкі епоксидні смоли, які вступають у реакцію з активатором – сумішшю розчинних у воді поліамінових смол, підсилених неорганічними пігментами. Таке покриття має виняткову абразивну та ерозійну стійкість, що дає змогу його застосовувати у





а) – підводна камера з шахтним колодязем; б) – великий глибоководний кесон;  
в) – водолазний дзвін

**Рисунок 11 – Підводні камери для ремонту підводних газонафтопроводів**

вологих і підводних умовах. Chemi-Tech U.W. легко наносити під водою щітками з коротким ворсом не пізніше, ніж через чотири години після очищення зовнішньої поверхні трубопроводу. При цьому перед нанесенням ізоляції Chemi-Tech U.W. треба змішати основу і активатор у відповідних пропорціях.

У результаті дії агресивного водного середовища стінка труби підводних трубопроводів часто кородує. Якщо немає розмитих ділянок то виявити дефекти стінки труби підводних газонафтопроводів можна тільки внутрішньотрубним діагностуванням.

Дефекти стінки труби підводних газонафтопроводів можна відремонтувати одним з способів:

- заварюванням;
- установленням металевих або композитних муфт;
- ремонтом з підніманням трубопроводу над поверхнею води;
- ремонтом з протягуванням нового трубопроводу (меншого діаметра) в дефектний трубопровід (спосіб "труба в трубі");
- ремонтом зі зміною русла невеликої річки або потоку;
- прокладанням нової нитки.

Вибір способу ремонту підводного газонафтопроводу визначається технічним станом трубопроводу, глибиною водойми в місці дефекту, швидкістю течії, техніко-економічним обґрунтуванням ремонту, іншими чинниками.

Відремонтувати дефекти стінки труби підводних газонафтопроводів заварюванням можна безпосередньо у водному середовищі – “мокре зварювання” або в спеціальних камерах – “сухе зварювання”.

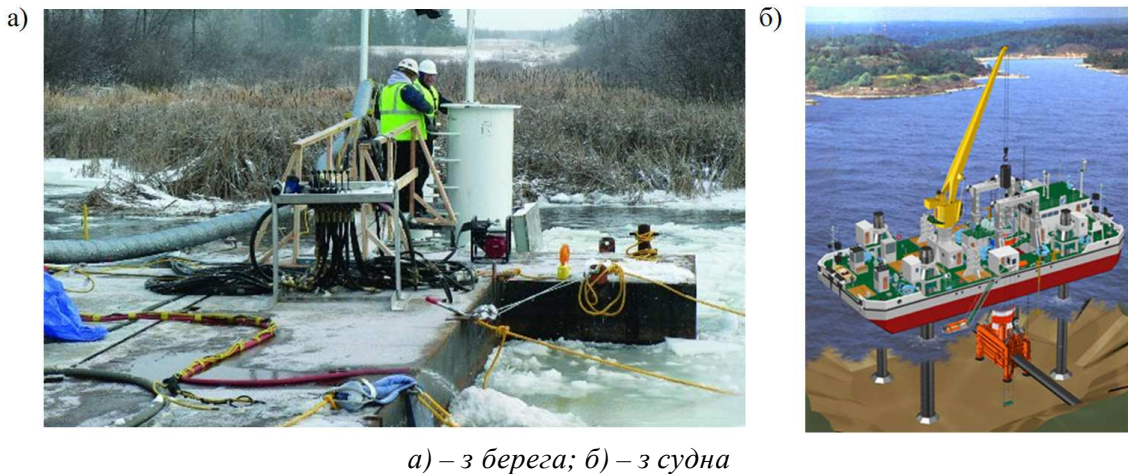
Досвід ремонту підводних трубопроводів заварюванням безпосередньо у водному середовищі показав, що навіть при задовільних фізико-механічних властивостях основного металу труби “мокре зварювання” не є якісним і може бути тільки тимчасовим заходом. Заварювати дефекти стінки труби у водному середовищі, приварювати притиснуту спеціальною притисочною струбиною латку в місці наскрізного дефекту стінки труби доцільно тільки в аварійних ситуаціях.

Найкраще заварювати дефекти стінки труби підводних трубопроводів у спеціальних камерах. Камери є різної конструкції та розмірів:

- підводні камери з шахтним колодязем (рис. 11, а);
- великі глибоководні кесони, коли місце зварювання і зварювальник ізолюється від водного середовища (рис. 11, б);
- водолазні дзвони – малі кесони, коли зварювальник знаходиться до поясу у воді (рис. 11, в).

Підводні камери з шахтним колодязем ефективно застосовувати на ділянках підводних трубопроводів, де глибина водойми не перевищує 8 м, а швидкість течії – 1 м/с. Вони є металеві герметичною камерою, яка складається з двох або трьох секцій, з'єднаних болтами. Підводні камери з шахтним колодязем розкриваються в нижній частині (за типом грейфера). Після закриття камера ущільнюється навколо трубопроводу по фланцях. Зазор в кільцевих отворах камери, через який проходить ремонтований трубопровід, ущільнюють. Після встановлення камери до неї кріпиться трубчастий колодязь з вентиляційною системою та відкидні рами для установлення баластних контейнерів. Відтак з камери відпompовують воду і здійснюють заварювання дефектів стінки труби традиційними технологіями. Підводні камери з шахтним колодязем можна встановлювати з берега (рис. 12, а) або судна (рис. 12, б). В таких камерах також можна приварювати латки, встановлювати приварні муфти та замінювати дефектну ділянку трубопроводу незначної довжини.

Кесони ефективно застосовувати для заварювання дефектів стінки труби глибоководних ділянок підводних газонафтопроводів. Великі глибоководні кесони встановлюються зверху на трубопровід і ущільнюються навколо нього. Малі кесони прикладаються до стінки трубопроводу в місці дефекту і ущільнюються. Кесон виконують з відкритим дном (“мокре” дно), через яке після встановлення кесона вода витісняється стисненим повітрям або, ще краще, інертним газом (аргон, двоокис вуглецю), який покращує зварювання. На відміну від підводної камери з шахтним колодязем, у кесоні ремонтні роботи виконують під тиском, який перевищує



а) – з берега; б) – з судна

Рисунок 12 – Встановлена підводна камера з шахтним колодязем



а) – підсилююча; б) – герметизуюча

Рисунок 13 – Металеві муфти

атмосферний більше, ніж на  $0,1h$ , де  $h$  – глибина водоюми. Вхід і вихід водолаза-зварювальника в кесон здійснюється через відкрите дно кесона. Також через відкрите дно доставляють інструменти, кабелі, шланги. Кесони обладнують системою вентиляції, що запобігає задимленню корпусу і не призводить до погіршення видимості під час зварювання. Водолаз-зварювальник, який знаходиться всередині кесона у водолазному спорядженні, традиційним зварювальним обладнанням і традиційною технологією зварювання зварює дефекти, приварює латки.

Аналіз світової практики ремонту підводних газонафтопроводів без піднімання на поверхню води показав, що найдоступнішим способом ремонту корозійних дефектів стінки труби глибоководних ділянок підводних газонафтопроводів є установка металевих і композитних муфт.

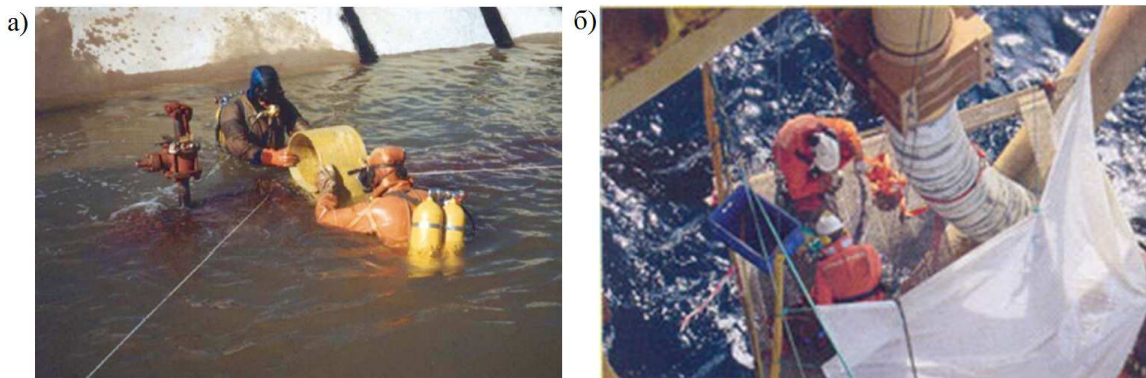
Для ремонту дефектів стінки труби підводних газонафтопроводів застосовують роз'ємні металеві неприварні підсилюючі муфти та герметизуючі металеві муфти. Щоб полегшити установку та забезпечити щільне прилягання муфт до стінки труби, їх обладнують гідроциліндрами.

Роз'ємні металеві неприварні підсилюючі муфти складаються з двох половин, які стягують навколо труби затяжними болтами (рис. 13, а). Перед установленням муфти поверхню труби ретельно очищують від старої ізоляції. Тоді на неї накладають прокладку з елас-

тичної резины або склотканини, просоченої полімерним клеєм. Оскільки дотичні зусилля, які виникають під час стягування муфти, прикладаються до стінки труби через пружні прокладки, таку муфту не можна розглядати як тимчасовий захід, який перешкоджає потраплянню нафти в довкілля у разі розриву труби в місці дефекту.

Герметизуючі металеві муфти стягують навколо труби затяжними болтами і заливають клейовим компаундом (рис. 13, б). Трубу на довжину до 500 мм від місця дефекту (у обидві сторони) очищують від ізоляції. Якщо трубопровід має наскрізний дефект, то на нього накладають латку з листової сталі товщиною 1-2 мм або алюмінієвої фольги товщиною 0,5 мм. Латку прихоплюють стрічковими хомутами. Металеві півмуфти установлюють з таким розрахунком, щоб торцеві манжети ущільнювачів знаходилися за межами пошкодження. Після з'єднання півмуфт затяжними болтами конструкцію заповнюють швидкотвердіючим герметиком на основі полімерних клеїв.

Останніми роками для ремонту дефектів стінки труби підводних трубопроводів почали широко застосовуватись композитні муфти, які найефективніші на великих глибинах. Новітні високоміцні полімерні композиції дозволили розробити нові технології ремонту дефектів стінки труби у водному середовищі. Композитну муфту установлюють два водолази (рис. 14, а). На поверхню труби в місці дефекту вони нано-



а) – на підводний трубопровід; б) – на райзер морської платформи

Рисунок 14 – Установлення композитної муфти



Рисунок 15 – Плаваючі опори розміщені на баржах

сять клейову композицію і намотують склопластикове полотно, яке змочують клейовою композицією. Найбільшого поширення набули акрилатні, поліефірні і епоксидні клейові композиції. Вони мають густину більше  $1000 \text{ кг/м}^2$ , є в'язкими та швидкозатвердіючими. Гідрофобні наповнювачі (аеросил, кварц, алюмінієва пудра тощо), які додають до клейової композиції, дають змогу понизити напруження у муфті, підвищити в'язкість клею, зменшують усадку, збільшують міцність і монолітність затверділого компаунда. Час полімеризації клеїв залежить від температури довкілля і співвідношення наповнювачів.

Також композитні муфти доцільно застосовувати для ремонту корозійних дефектів стінки райзерів морських платформ у місці їх входу в воду (рис. 14, б). Такі роботи, як правило, виконують під час відпливів.

У ряді випадків, коли в стінці труби підводних газонафтопроводів виявлено велику кількість небезпечних дефектів, тріщини, стрескорозійні дефекти глибиною більше 20 % товщини стінки труби, ділянки з такими дефектами треба замінювати вирізанням. Замінити дефектну ділянку підводного трубопроводу незначної довжини можна в шахтному колодязі. Щоб замінити дефектну ділянку підводного трубопроводу значної протяжності, її треба підняти на поверхню води. Піднімати можна з плаваючих опор, з льоду або з суден. Плаваючі опори складаються з двох барж або чотирьох понтонів, з'єднаних між собою рамою

(рис. 15). На понтонах установлюють вантажопіднімальні лебідки. У зимову пору року для підняття трубопроводу рами з блоками і лебідками встановлюють на кригу.

У разі застосування цього способу заміни дефектної ділянки трубопроводу треба врахувати, що найменше підняття трубопроводу (навіть на 10 см) може призвести до збільшення напружень в стінці труби у два рази, що неодмінно відіб'ється на надійності подальшої експлуатації трубопроводу. Тому підняти трубопровід на поверхню води можна тільки тоді, коли він загалом є в задовільному стані, а наявні тільки місцеві дефекти стінки труби, які вимагають вирізання ділянки трубопроводу. Тому до початку виконання ремонтних робіт треба визначити загальну довжину ділянки трубопроводу, яка піднімається, визначити її технічний стан та розрахувати зусилля, які виникають в трубі під час підняття і опускання.

Коли підводний газонафтопровід в незадовільному стані, має велику кількість небезпечних дефектів стінки труби, невеликий залишковий ресурс, він вимагає повної заміни. Проте повна заміна підводних переходів є надзвичайно дорогою та вимагає застосування спеціалізованої техніки. Один з відносно дешевих способів ремонту таких підводних газонафтопроводів – протягування через дефектний трубопровід трубопроводу меншого діаметра (спосіб "труба в трубі"). Даний спосіб ремонту виключає витрати на розмивання, демонтаж дефектного трубопроводу та укладання і засипання

нового, але зменшує пропускну здатність трубопроводу. Новітні технології прокладання трубопроводів на переходах через природні і штучні перешкоди, такі як похило-скерованого буріння, мікротунелювання, передбачають заглиблення трубопроводу на значну глибину (до 10 м під перешкодою), що виключає будь-який доступ до трубопроводу, а отже, виконати його ремонт за традиційними технологіями неможливо. В Україні кількість таких переходів починає з кожним роком різко зростати. Будуються нові, реконструюються старі надземні переходи способом похило-скерованого буріння. Впродовж експлуатації таких переходів у найближчому майбутньому виникне питання їх ремонту. Обстежити такі переходи і визначити точне місцезнаходження дефекту дозволяє тільки внутрішньотрубна діагностика, а технології ремонту таких переходів відсутні. Одним з можливих способів ремонту таких підводних переходів є метод протягуванням нового трубопроводу в дефектний трубопровід.

Протягувати новий трубопровід у дефектний доцільно якщо:

- зовнішній діаметр дефектного трубопроводу від 150 мм до 1420 мм;
- дефектний трубопровід не має суцільних розривів;

- профіль та внутрішня геометрія підводного газонафтопроводу дає змогу протягнути новий трубопровід у дефектний;

- існує можливість відключення ремонтної нитки підводного трубопроводу на час виконання ремонтних робіт.

Підготовлену нову ділянку трубопроводу протягують тяговим тросом усередині дефектного трубопроводу тяговими засобами. При цьому може відбутись руйнування опорно-центруючих кілець і, як наслідок, руйнування ізоляції протягнутого трубопроводу. Також можливе застрягання протягнутого трубопроводу в дефектному. Зменшити тягове зусилля протягування, запобігти руйнуванню опорно-центруючих кілець та застрягання протягнутого трубопроводу, протягувати протяжні ділянки можна забезпечивши плавучість протягнутого трубопроводу всередині дефектного. Таке можна здійснити протягнувши у новий трубопровід на монтажному майданчику товстостінну поліетиленову трубу. Поліетиленову трубу треба заглушити з двох сторін і накачати повітрям. У міжтрубний простір між робочим і дефектним трубопроводом подають воду, забезпечуючи тим самим плавучість нового трубопроводу у дефектному під час його протягування.

Оскільки діаметр нового трубопроводу, який протягується в дефектний, є менший діаметра лінійної частини трубопроводу, то виконати очищення та внутрішньотрубну дефектоскопію такого трубопроводу без монтажу вузлів під'єднання мобільних камер запускання та приймання засобів очищення на двох берегах водної перешкоди неможливо. Причому для забезпечення очищення і внутрішньотрубного діагностування нового протягнутого трубопроводу вузли під'єднання мобі-

льних камер запускання та приймання засобів очищення і діагностування повинні монтуватись і на ньому.

Альтернативою способу “труба в трубі” є технологія внутрішньотрубного ремонту композитними бандажами важкодоступних ділянок підводних газонафтопроводів, підводних переходів, прокладених способом похило-скерованого буріння, мікротунелювання. Також важкодоступні місця зустрічаються в міських газових мережах, де влаштування траншей є ускладненим, вимагає перекидання руху автотранспорту, розкопування автодороги.

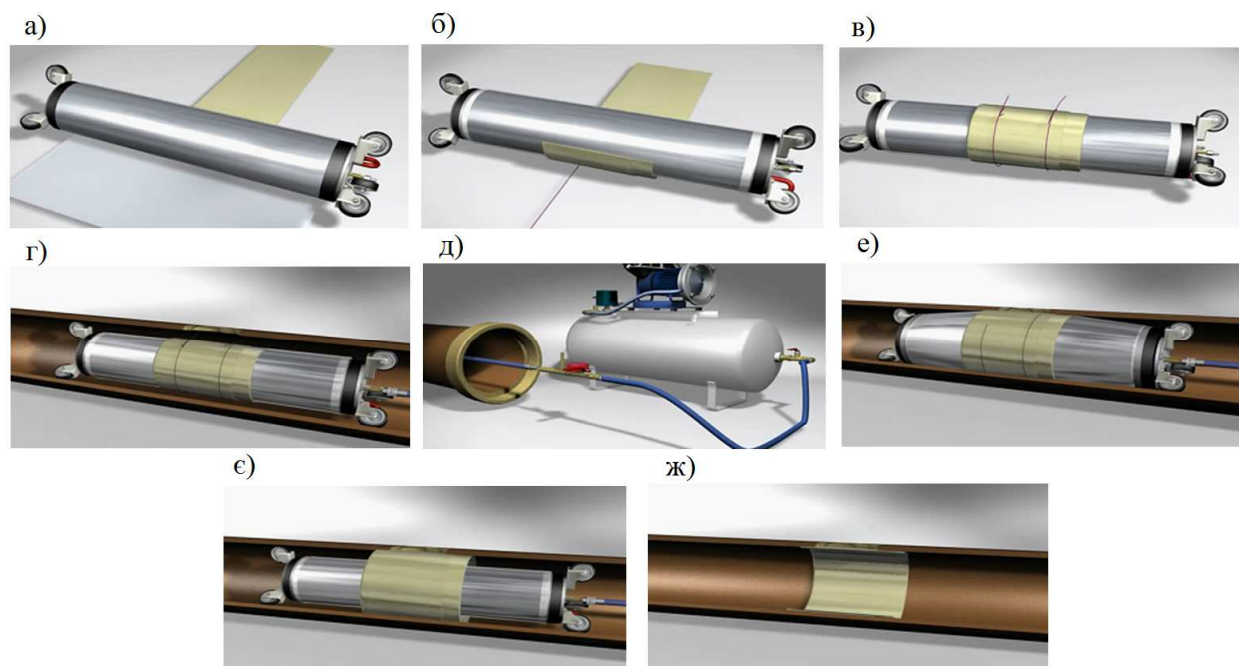
Внутрішньотрубний ремонт можна здійснити тільки з допомогою спеціального пристрою, який може доставити композитний бандаж трубопроводом до місця дефекту стінки труби.

Попередньо за розмірами дефекту, визначеними внутрішньотрубною діагностикою, вирізають композитні бандажі відповідних розмірів, наносять на них епоксидний клей і складають у декілька шарів. Для запобігання прилипання бандажу до пристрою його обгортають спеціальною фольгою (рис. 16, а). Після нанесення клею композитний бандаж обгортають довкола пристрою (рис. 16, б) і закріплюють (рис. 16, в). Тоді пристрій запасовують у трубопровід і доставляють до місця дефекту (рис. 16, г). Якщо перехід протяжний і дефект далеко від його кінців, доставити пристрій можна протягуванням.

Коли пристрій доставлений до місця дефекту, в нього нагнітають воду або повітря (рис. 16, д) під тиском, у результаті чого він розширюється і щільно притискає композитний бандаж до стінки труби (рис. 16, е). Притиснутий бандаж витримують 3-8 годин, до застигання смоли. Час застигання можна регулювати температурою повітря або води. Після цього з пристрою стравлюють воду або повітря (рис. 16, є) і його виймають назовні.

Нанесений у такий спосіб композитний бандаж (рис. 16, ж) значно підсилить трубопровід у місці дефекту та забезпечить його додаткову міцність і жорсткість, а також є додатковим захистом від корозії. Перевагою даної технології над способом “труба в трубі” є те, що не відбувається зменшення пропускну здатності трубопроводу та виключається необхідність монтажу вузлів запускання і приймання засобів очищення та діагностування трубопроводу.

**Висновок.** В газонафтотранспортній системі України на сьогодні функціонує більше 1000 підводних переходів газопроводів, біля 200 підводних переходів нафтопроводів та біля 370 км морських газонафтопроводів, які є складними інженерними спорудами та вважаються одними з найнебезпечніших ділянок нафтогазо-транспортної системи. У зв'язку зі значним старінням газонафтотранспортної системи в найближчому майбутньому виникне потреба у виконанні великого обсягу планово-відновлювальних робіт з ремонту підводних газонафтопроводів, повної заміни, що, в свою чергу, ви-



а) – намотування фольги; б) – намотування композитного бандажу; в) – закріплення бандажу; г) – доставляння пристрою до місця ремонту; д) – нагнітання повітря в пристрій; е) – розширення пристрою; є) – стравлювання повітря з пристрою; ж) – підсилений бандажем трубопровід

**Рисунок 16 – Технологічна послідовність внутрішньотрубного ремонту важкодоступної ділянки трубопроводу композитним бандажем**

має вивчення передового світового досвіду, активного пошуку, розроблення і впровадження інноваційних технологій виконання робіт.

### Література

1 Алимов С.В. Расчет плавучести магистральных газопроводов на речных подводных переходах / С.В. Алимов, И.И. Велиюлин, Э.И. Велиюлин и др. // Газовая промышленность. – 2009. – № 2. – С. 33–36.

2 Ориняк І.В. Моделювання процесу протягування труби через трубопровід більшого діаметра / І.В. Ориняк, В.М. Василюк, А.В. Богдан, М.В. Стецьків // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2005. – № 2(15). – С. 5–13.

3 Федоров А.С. Выбор методов строительства переходов береговой линии при проектировании морских трубопроводов / А.С. Федоров, А.А. Архипов, И.А. Прокопенко // Транспорт трубопроводный [Теория и практика]. – 2006. – № 4. – С. 65–71.

4 Хабибуллин А.Н. Технология ремонта дефектов на подводных переходах магистральных газопроводов сваркой в кессоне с последующим усилением гидромуфтой / А.Н. Хабибуллин, Г.И. Бобов // Территория нефтегаз. – 2006. – № 11. – С. 32–34.

5 Харионовский В.В. Рекомендации по оценке работоспособности подводных переходов газопроводов при наличии размывов дна [Текст] : нормативно-технический материал / В.В. Харионовский, В.П. Радин. – М. : ВНИИ-ГАЗ, 1995. – 44 с.

6 Шаммазов А.М. Подводные переходы магистральных нефтепроводов [Текст] / А.М. Шаммазов, Ф.М. Мугаллимов, Н.Ф. Нефедова. – М. : ООО “Недра-Бизнесцентр”, 2000. – 237 с. – ISBN 5-8365-0049-5.

7 Magda W. Wave-induced pore-pressure response on a submarine pipeline buried in seabed sediments / W. Magda, S. Maeno, H. Nago // Journal of the Faculty of Environmental Science and Technology, Okayama University. – 1998. – № 1 (3). – P. 75-95.

8 Sumer B. Liquefaction around pipelines under waves / B. Sumer, C. Truelsen, J. Fredsoe // Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, ASCE. – 2006. – № 4 (132). – P. 266-275.

9 Talebbeydokhti N. Wave induced uplift forces acting on half-buried submarine pipeline in sandy seabed by numerical methods / N. Talebbeydokhti, E. Afzali // Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Engineering. – 2008. – № 2 (32). – P. 141-151.

Стаття надійшла до редакційної колегії 06.02.14

Рекомендована до друку професором **Грудзом В.Я.** (ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ) канд. техн. наук **Братахом М.І.** (відділ транспортування газу УкрНДІгаз ПАТ «Укргазвидобування», м. Київ)