

# Техніка і технології

УДК 622.692.4

DOI: 10.31471/1993-9973-2019-3(72)-19-31

## СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ БУДІВНИЦТВА ПРОМИСЛОВИХ ГАЗОНАФТОПРОВОДІВ

<sup>1</sup>Я. В. Дорошенко, <sup>2</sup>В. А. Кучерявий, <sup>3</sup>Н. М. Андрійшин, <sup>4</sup>С. М. Стецюк, <sup>4</sup>Ю. М. Левкович

<sup>1</sup>ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42157,  
e-mail: ya.doroshenko@nung.edu.ua

<sup>2</sup>ДП «Науканафтогаз»; 08132, Київська обл., м. Вишневе, вул. Київська, 8, тел. (044) 3917401,  
e-mail: kucheryaviy@naukanaftogaz.kiev.ua

<sup>3</sup>АТ Укргазвидобування, 04053, м. Київ, вул. Кудрявська 26/28, тел. (044) 4614870,  
e-mail: nazar.andriishin@ugv.com.ua

<sup>4</sup>УкрНДІгаз, 61125, м. Харків, Гімназійна набережна, 20, тел. (057) 7304585,  
e-mail: stetsyuk.sergey@ndigas.com.ua

Проаналізовано зарубіжний досвід будівництва промислових трубопроводів із гнучких композитних труб для транспортування вуглеводнів. Обґрунтовано доцільність застосування таких труб у газонафтному комплексі України. Описано конструкції гнучких композитних труб, дана коротка характеристика матеріалів, з яких вони виготовляються, розглянуто їх переваги над сталевими. Наведено найбільших виробників гнучких композитних труб та технічні характеристики їх продукції.

Розглянуто схеми та способи прокладання гнучких композитних трубопроводів. Описано технологію підготовки гнучких композитних труб до транспортування та наведено засоби, які застосовують для виконання вантажно-розвантажувальних, транспортних робіт.

Описано вимоги, які встановлюються до розроблення траншеї, призначених для прокладання одно- і багатониткових гнучких композитних трубопроводів. Наведено технології та засоби, які застосовуються для розмотування гнучких композитних труб із барабанів й бухт перед їх укладанням. Проаналізовано методи з'єднання гнучких композитних труб між собою та з технологічним обладнанням, сталевими трубами, фонтанною арматурою. Розглянуто конструкції накидних кінцевих, міжтрубних та спеціальних фітінгів та описано технологію їх встановлення. Наведено способи, технології та вимоги до укладання гнучких композитних трубопроводів у траншею, наземного їх прокладання та покладання в місці виходу гнучкої композитної труби на поверхню землі з метою кріплення до сталевого трубопроводу, технологічного обладнання тощо. Встановлено особливості прокладання гнучких композитних трубопроводів через автомобільні дороги, водні перешкоди і болота як траншейними, так і безтраншейними технологіями, особливості безтраншейної реконструкції гнучкими композитними трубами дефектних, зношених сталевих трубопроводів, особливості очищення внутрішньої порожнини гнучких композитних трубопроводів та їх випробування.

Ключові слова: барабан, бухта, випробування, гнучка композитна труба, фітінг, траншея, укладання.

Проанализирован зарубежный опыт строительства промышленных трубопроводов из гибких композитных труб для транспортировки углеводородов. Обоснована целесообразность применения указанных труб в нефтегазовом комплексе Украины. Описаны конструкции гибких композитных труб, дана краткая характеристика их конструктивных материалов, рассмотрены преимущества указанных труб перед стальными. Указаны крупнейшие производители гибких композитных труб и технические характеристики их продукции.

*Рассмотрены схемы и способы прокладки гибких композитных трубопроводов. Описана технология подготовки гибких композитных труб для транспортировки и приведены средства, применяемые для выполнения погрузочно-разгрузочных и транспортных работ.*

*Описаны требования к разработке траншеи для прокладывания одно- и многониточных гибких композитных трубопроводов. Приведены технологии и средства, применяемые для размотки гибких композитных труб из барабанов и бухт перед их укладкой. Проанализированы методы соединения гибких композитных труб между собой и с технологическим оборудованием, стальными трубами, фонтанной арматурой. Рассмотрены конструкции накидных фитингов и описана технология их установки. Приведены способы, технологии и требования к укладке гибких композитных трубопроводов в траншею, наземного их прокладывания и прокладывания в месте выхода гибкой композитной трубы на поверхность земли для крепления к стальному трубопроводу или технологическому оборудованию. Установлены особенности прокладывания гибких композитных трубопроводов через автомобильные дороги, водные преграды и болота как траншейными, так и бестраншейными технологиями, особенности бестраншейной реконструкции гибкими композитными трубами дефектных, изношенных стальных трубопроводов, особенности очистки внутренней полости гибких композитных трубопроводов и их испытания.*

Ключевые слова: барабан, бухта, гибкая композитная труба, испытание, фитинг, траншея, укладка.

*Foreign experience in the construction of industrial pipelines of flexible composite pipes for the transportation of hydrocarbons is considered. The expediency of using such pipes in the gas-oil complex of Ukraine is substantiated. The designs of flexible composite pipes are described, a brief description of their construction materials is given, the advantages of these pipes over steel ones are considered. The largest manufacturers of flexible composite pipes are listed and the technical specifications of their products are indicated.*

*Schemes and methods for laying flexible composite pipelines are considered. The technology of preparing flexible composite pipes for transportation is described and the means used for handling are given.*

*The requirements as to trenching for laying single and multi-stranded flexible composite pipelines are described. The article presents the technologies and tools used to unwind flexible composite pipes from reels and coils before laying them. The methods of connecting flexible composite pipes to each other and to technological equipment, steel pipes, and Xmas-trees are analyzed. The designs of union fittings are considered and the technology of their installation is described. The authors consider methods, technologies and requirements for laying flexible composite pipelines in a trench, their ground laying and laying at the point where the flexible composite pipe exits to the ground for attachment to a steel pipe or technological equipment. The article presents the features of laying flexible composite pipelines through highways, water barriers and swamps by both trench and trenchless technologies, features of trenchless reconstruction of defective, worn steel pipelines with flexible composite pipes, and features of pigging flexible composite pipes and their trying out.*

Keywords: reel, coil, flexible composite pipe, trying out, fitting, trench, laying.

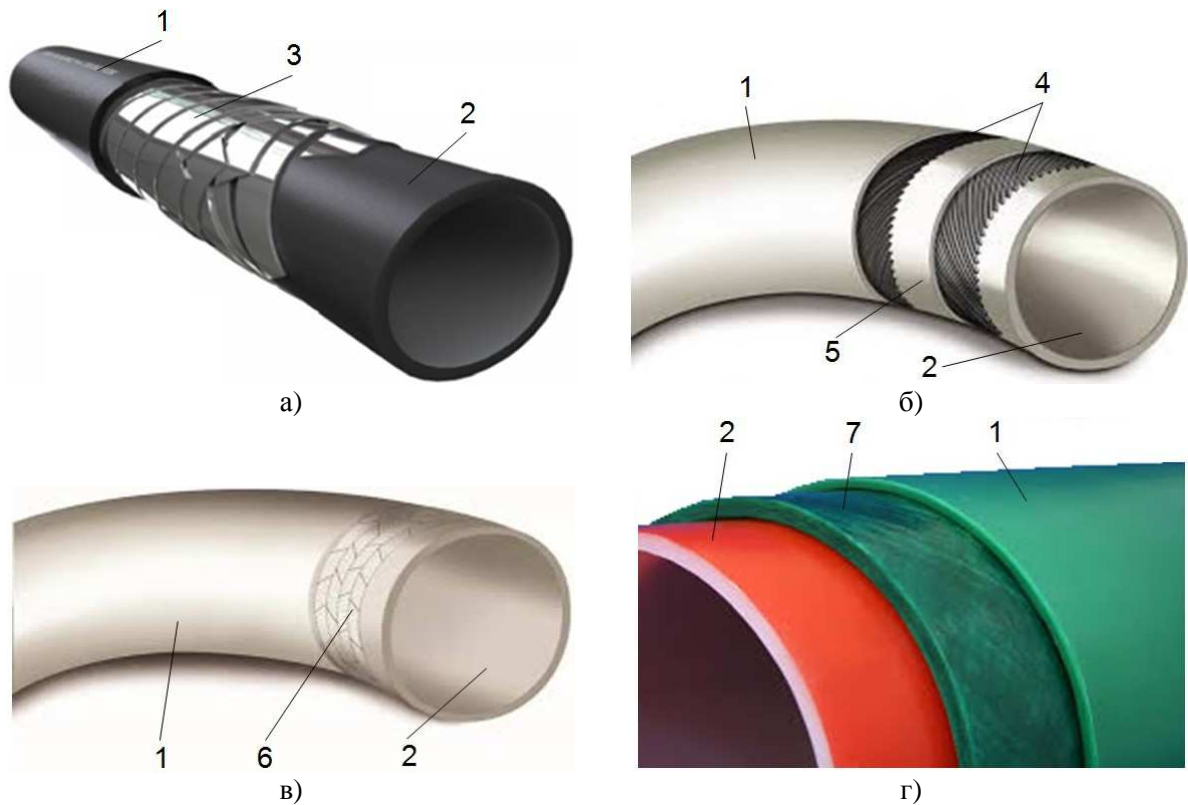
## **Вступ**

Одним з шляхів реалізації стратегії збільшення обсягів видобування газу та нафти в Україні є розвідка нових родовищ, буріння нових свердловин. Щоб у стислі терміни вводити в експлуатацію нові свердловини, нові родовища треба зменшити терміни будівництва об'єктів облаштування родовищ. Для значного пришвидшення будівництва трубопроводів-шлейфів, міжпромислових та магістральних трубопроводів треба застосовувати сучасні трубопровідні матеріали, сучасні технології.

На сьогодні існує успішний світовий досвід застосування гнучких композитних труб виробництва компаній Канади, США для облаштування газових та нафтових родовищ, будівництва шлейфів, міжпромислових та магістральних трубопроводів. Суттєвими перевагами таких труб є легкість і велика швидкість монтажу, низькі капітальні витрати на спорудження (до 65 %), гнучкість і велика довжина однієї труби. Такі труби є міцнішими за сталеві і мо-

жуть експлуатуватись під високими тиском (до 24 МПа), вони є корозійно стійкими і не вимагають додаткових засобів захисту; внутрішня їх стінка має низьку шорсткість, завдяки чому швидкість газового потоку в таких трубах є більшою, ніж у сталевих. Корозійна стійкість гнучких композитних труб забезпечує їх високу надійність та дає змогу знизити витрати на технічне обслуговування трубопроводів практично до нуля.

Ці, а також цілий ряд інших причин обумовлюють особливу актуальність застосування гнучких композитних труб для будівництва промислових газонафтопроводів, що дасть змогу наростити обсяги видобування газу та нафти в Україні. Такі труби дають змогу вирішити основні проблеми трубопровідного транспорту (корозія сталевих труб та висока вартість і значна тривалість виконання робіт із будівництва сталевих трубопроводів).



а) труба FlexSteel; б) труба FlexCord; в) труба FlexPipe; г) труба Fiberspar;  
 1) поліетилен високої щільності; 2) поліетилен низького тиску; 3) металева стрічка;  
 4) сталевий дріт; 5) бар'єрний шар; 6) скловолокно; 7) скловолоконно-епоксидний ламінат

### Рисунок 1 – Конструкції гнучких композитних труб

#### Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень і публікацій

У світі уже прокладено і успішно експлуатується тисячі кілометрів гнучких композитних трубопроводів різного призначення. Такими трубопроводами транспортуються природний газ, нафта та інші гази і рідини під великим тиском і з високою температурою [1-3]. Успіхи в застосуванні гнучких композитних труб створюють високий потенціал для зростання газонафтової промисловості.

Вимоги до гнучких композитних трубопроводів установлюють численні зарубіжні нормативні документи [4-7], проте такі нормативні документи не чинні в Україні і доступні вітчизняним фахівцям на мові оригіналу.

#### Формулювання цілей статті

Для застосування гнучких композитних труб в нафтогазовій галузі України треба вивчати передовий світовий досвід будівництва гнучких композитних трубопроводів та розробити нормативний документ, який би установлював вимоги до їх проектування та будівництва.

#### Виклад основного матеріалу

Гнучкі композитні труби є багатошаровими. Внутрішнім шаром є поліетилен високої щільності, який забезпечує герметичність порожнини труб. Підсилення внутрішнього поліетиленового шару виконується концентричним пошаровим намотуванням на нього в протилежні напрями чотирьох шарів металевої стрічки з холоднокатаної сталі (труби FlexSteel [1] (рис. 1, а)), сталевому дроту (корду) (труби FlexCord [2] (рис. 1, б)), скловолокна (труби FlexPipe [2] (рис. 1, в)) або скловолоконно-епоксидного ламінату (труби Fiberspar [3] (рис. 1, г)). Зовнішній захисний шар, який формують з поліетилену низького тиску, забезпечує захист труби від механічних пошкоджень та дії доквілля. Зовнішній шар повинен бути стійким до сонячного випромінювання (у разі наземного чи надземного прокладання трубопроводу). Жовтий полімерний матеріал зовнішнього шару вважається придатним для витримування прямих сонячних променів у районах з помірним кліматом. Чорний полімерний матеріал містить сажу, яка поглинає сонячне випромінювання і захищає полімерні матеріали. Тому, вважається, що чорний полімерний

Таблиця 1 – Технічні характеристики найбільших виробників гнучких композитних труб

Назва виробника	Країна	Назва продукту	Номінальний діаметр, мм	Максимальний робочий тиск, МПа
FlexSteel	США	FlexSteel	50, 75, 100, 150	20,68
Shawcor Ltd	Канада	FlexPipe	50, 75, 100	10,34
Shawcor Ltd	Канада	FlexCord	75, 100	15,51
Fiberspar	США	Fiberspar	60, 90, 110, 150, 170	24,10
Thermoflex	США	Thermoflex	50, 75, 90, 100, 110, 125, 150	13,80

матеріал витримує сонячне випромінювання на невизначений термін. Білий полімер спеціально розроблений для довготривалого впливу сонячного випромінювання високої інтенсивності.

Технічні характеристики найбільших виробників гнучких композитних труб наведено в таблиці 1.

На сьогодні в Україні відсутній чинний нормативний документ, який б установлював вимоги до гнучких композитних трубопроводів, що унеможливило їх будівництво в нашій країні. Фахівцями Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу спільно з фахівцями ДП “Науканафтогаз” розроблено національний стандарт, який встановлюватиме технічні вимоги щодо проектування, технології будівництва, контролю якості та приймання магістральних, міжпромислових і промислових газопроводів із гнучких композитних труб умовним діаметром до 200 мм підземного, наземного, надземного, підводного та безтраншейного прокладання і безтраншейної реконструкції з надлишковим тиском до 24,1 МПа, призначених для транспортування природного газу та інгібіторів. Вимоги цього стандарту будуть поширюватись на проектування та будівництво промислових нафтопроводів.

Пріоритетними питаннями, розв’язанню яких буде сприяти стандарт, є:

- термінологічне визначення технічних засобів, процесів і понять, які пов’язані з будівництвом трубопроводів із гнучких композитних труб;

- підвищення якості розроблення проектів з будівництва трубопроводів із гнучких композитних труб;

- підвищення безпеки, ефективності, захисту довкілля та якості виконання робіт з будівництва трубопроводів із гнучких композитних труб.

У національному стандарті встановлено вимоги до гнучких композитних труб та технічної документації на них, проектні вимоги, вимоги до транспортування та зберігання гнучких композитних труб, виконання усіх робіт з буді-

вництва гнучких композитних трубопроводів (підготовчих, земляних, монтажних, очищення внутрішньої порожнини та випробування), будівництва переходів гнучких композитних трубопроводів через природні і штучні перешкоди, безтраншейної реконструкції зношених сталевих трубопроводів гнучкими композитними трубами, вимоги щодо контролю якості виконання робіт, безпеки та збереження навколишнього природного середовища.

Гнучкі композитні трубопроводи можна прокладати підземно, наземно, надземно та підводно. Підземно гнучкі композитні трубопроводи можна прокладати траншейним або безтраншейним способом. Також гнучкими композитним трубами можна безтраншейно реконструювати зношені та дефектні сталеві трубопроводи. У разі перетинання з іншими інженерними мережами гнучкі композитні трубопроводи можуть розташовуватись над або під існуючими трубопроводами.

Для транспортування і зберігання гнучку композитну трубу намотують на барабан (рис. 2, а), упаковують у бухту (рис. 2, б). Залежно від діаметра гнучкої композитної труби її довжина на барабані чи в бухті може скласти більше 1 км. Намотану на барабан чи упаковану в бухту гнучку композитну трубу можна легко і швидко розмотати на місці виконання робіт, що значно прискорює темпи будівництва трубопроводів.

Діаметр стандартного сталевого барабана для гнучких композитних труб складає 3,7 м, а ширина – 1,2 м або 2,4 м чи 2,6 м. Є кілька схожих стилів барабанів з деякими варіаціями розмірів, зі сталевими чи дерев’яними фланцями. Оптимальний розмір барабанів для транспортування – це компроміс між легшими малогабаритними барабанами, на які намотують коротші труби, що вимагає більшої кількості з’єднань труб, і більші – важкі барабани з довгими трубами з меншою кількістю з’єднань труб, але підвищеною складністю та витратами на транспортування.

У бухтах витки гнучких композитних труб закріплені стяжними стрічками, ремнями. Для



а)



б)

*а) на барабані; б) у бухті*

**Рисунок 2 – Підготовлені до транспортування гнучкі композитні труби**



а)



б)

*а) на барабані; б) у бухті*

**Рисунок 3 – Транспортування гнучких композитних труб**

транспортування, зберігання і розмотування бухти поміщають горизонтально або вертикально на піддони.

Гнучкі композитні труби, намотані на барабан, у бухтах транспортують морським, річковим, залізничним та автомобільним транспортом. У разі транспортування залізничним або автомобільним транспортом перевагу віддають відкритим залізничним, автомобільним платформам з якомога меншим кліренсом. На платформах розміщують кілька барабанів (рис. 3, а) чи бухт (рис. 3, б).

Навантажують і розвантажують барабани, бухти переважно автокранами. Піднімають барабани за допомогою траверс, оскільки фланці барабанів не призначені для бічних навантажень, які виникають у разі піднімання за них. Для піднімання барабану його закріплюють за центральну трубу, сталеву трубу чи сталевий стрижень, поміщений в осердя барабана, або приварені до спиць барабана піднімальні пластини. Барабани, бухти можуть бути вивантажені з платформи вилковим навантажувачем. Горизонтально розміщені бухти також можуть бути навантажені чи вивантажені з платформи, причепа за допомогою спеціального підйомного пристрою. Підйомний пристрій попере-

дно поміщають усередину бухти, направляючи його відтяжками (рис. 4). Розміщений всередині бухти підйомний пристрій закріплюють до піддону бухти П-подібним фіксатором.



**Рисунок 4 – Поміщення підйомного пристрою в середину бухти**

Для зберігання барабанів, бухт з гнучкими композитними трубами треба влаштовувати склади. Для короткочасного зберігання барабани і бухти можна залишати на відкритих майданчиках без захисту. Довготерміново барабани



а) за допомогою А-подібної рами; б) за допомогою розмотувального причепа

### Рисунок 5 – Розмотування гнучких композитних труб з барабанів

найкраще зберігати під навісами, оскільки вони виготовлені з вуглецевої сталі і схильні до корозії.

Якщо гнучкі композитні труби, підсилені скловолокном, залишаються тривало змоченими водою, то скловолокно намокає і знижується структурна цілісність і експлуатаційні можливості ділянок трубопроводу зі змоченими волокнами. Тому під час транспортування, зберігання та монтажу треба уникати потрапляння води на кінці гнучких композитних труб, підсилені скловолокном. Кінці гнучких композитних труб повинні бути надійно закриті транспортними оголовками.

На трасу барабани, бухти вивозять на автомобільних платформах, спеціальних розмотувальних причепах. Причепи обладнують розмотувальними А-подібними рамами, спеціально закріпленими стояками, каркасами тощо, в яких закріплюють барабани. Для розмотування бухт причепи обладнують розмотувальними підставками (якщо бухти розміщені на піддоні горизонтально), барабанами для розмотування бухт (якщо бухти розміщені на піддоні вертикально), в яких треба закріпити бухти.

Однією з великих переваг гнучких композитних труб над сталевими є менша ширина траншеї для їх підземного прокладання. Ширина траншеї по дну для укладання гнучких композитних труб може бути на 20-40 % меншою, ніж для сталевих. У разі розроблення траншеї плужним, ланцюговим траншеєкопачем допускається зменшувати ширину траншеї до зовнішнього діаметра гнучкої композитної труби за умов, що температура поверхні труби під час укладання не перевищує плюс 10 °С, а також забезпечується цілісність труби.

В одній траншеї можна прокласти дві і більше ниток гнучких композитних трубопроводів одного або різного призначення. При цьому віддаль по горизонталі між ними не повинна бути меншою 0,1 м.

Найшвидшим способом прокладання гнучких композитних трубопроводів є плужне трубозаглиблення. Його застосовують на відкритій місцевості, де немає перетину траси іншими трубопроводними комунікаціями, дорогами, водоймами тощо. Воно є доцільним у місцях родючих, мінеральних ґрунтів, пісків. У зимову пору року плужне трубозаглиблення допустиме, але його застосовують обережно, оскільки жорсткість гнучкої композитної труби за мінусових температур значно збільшується.

Перед монтажем гнучких композитних труб їх треба розмотати з барабану, бухти до відповідної монтажної довжини.

Барабани розмотують за допомогою А-подібних рам (рис. 5, а), спеціальних розмотувальних причепів (рис. 5, б).

А-подібні рами розміщують на поверхні землі, на автомобільних платформах або на розмотувальних причепах. Такі рами призначені для підтримування барабану, його обертання і безпечного розмотування. А-подібні рами без привода і гальм застосовують для розмотування гнучких композитних труб невеликої довжини. Вони не рекомендовані для стандартних повністю заповнених барабанів. Такі А-подібні рами, як правило, не здатні підтримувати будь-який рівень натягу гнучкої композитної труби і можуть послабити трубу на барабані. Для натягу гнучкої композитної труби застосовують А-подібні рами з гальмами. Найкращим типом А-подібних рам є рами, обладнані приводом з живленням. Привод не тільки дає змогу забез-

печити потрібний натяг труби на барабані, але й дає змогу, якщо це потрібно, змотати трубу назад на барабан.

Якщо автомобільні платформи, розмотувальні причепа обладнані А-подібними рамами, в яких встановлені барабани, то розмотувати такі барабани можна як з рухомих, так і з нерухомих платформ, причепів. Причепа (трейлери) розмотування можуть бути дуже легкими, які призначені для малих барабанів, і спеціально розробленими машинами для розмотування великих барабанів.

Для розмотування горизонтально розміщених на піддоні бухт застосовують розмотувальні підставки (рис. 6). На розмотувальній підставці розміщена горизонтально бухта обертається, і відбувається безпечно розмотування гнучкої композитної труби.



**Рисунок 6 – Розмотування горизонтально розміщеної на піддоні бухти**

Вертикально розміщену на піддоні бухту розмотують за допомогою барабана для розмотування бухт у поєднанні з розмотувальним причепом відповідної модифікації.

З нерухомих розмотувальних причепів чи автомобільних платформ, розміщених на землі А-подібних рам, розмотувальних підставок гнучкі композитні труби розмотують у місці м'яких ґрунтів, стрімких схилів, слизьких поверхонь, ліній електропередач (цей метод не рекомендований у кам'янистій місцевості, де можуть виникнути глибокі подряпини в захисному шарі труби). Для виконання такої операції гнучку композитну трубу витягують одноковшовим екскаватором, бульдозером, автомобілем, трактором тощо.

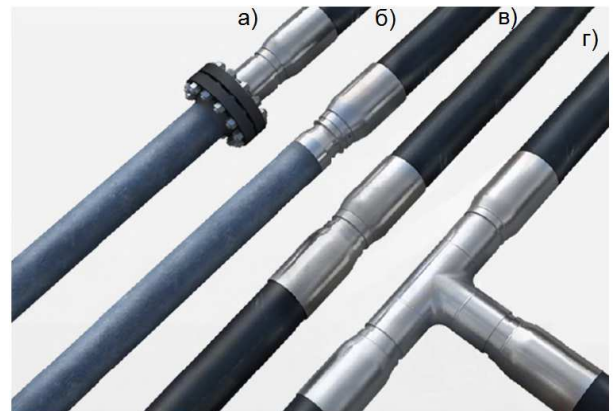
З розміщених на рухомих розмотувальних причепах, автомобільних платформах барабанів, бухт розмотувати гнучку композитну трубу доцільно в кам'янистій, скалистій місцевості.

Гнучкі композитні труби зовнішнім діаметром більше 50 мм рекомендовано після розмотування перед укладанням у траншею випрями-

ти і витримати у випрямленому стані протягом не менше 1 год.

Якщо треба прокласти гнучкі композитні трубопроводи відрізками, довжиною менше ніж довжина намотаної на барабан труби, то гнучку композитну трубу розрізають. Розрізають гнучкі композитні труби рівно під прямим кутом до повздовжньої осі шліфувальними машинами або спеціально призначеними для таких робіт фірмовими труборізами, стрічковими пилами.

З'єднують гнучкі композитні труби між собою та з технологічним обладнанням, сталевими трубами, фонтанною арматурою тощо накидними фітінгами. Застосовують фланцеві (рис. 7, а), зварні (рис. 7, б), міжтрубні (рис. 7, в) та спеціальні (рис. 7, г) фітінги. Фітінги виготовляють з нержавіючої сталі з нанесеним покриттям.



а) фланцевий; б) зварний; в) міжтрубний; г) спеціальний

**Рисунок 7 – Фітінги**

Фланцевими фітінгами з'єднують гнучкі композитні труби з іншими фланцевими з'єднаннями (з'єднують гнучкі композитні трубопроводи з сталевими, технологічним обладнанням, фонтанною арматурою тощо). Зварні фітінги встановлюють, коли замість роз'ємного фланцевого фітінга перевагу надано нероз'ємному з'єднанню. Доцільними зварні фітінги є для з'єднання гнучких композитних труб зі сталевими трубами, трубопровідною арматурою тощо. Міжтрубними фітінгами з'єднують гнучкі композитні труби між собою. Спочатку кінець однієї гнучкої композитної труби вдавлюють в один кінець міжтрубного фітінга, відтак кінець другої труби – в другий кінець міжтрубного фітінга. Після вдавлювання з двох кінців обтискають зовнішню металеву втулку фітінга. Спеціальні фітінги встановлюють у місцях поворотів трубопроводу на кут 90° малого радіусу (відводів), трійників, хрестовин, перехідників тощо. Відводи встановлю-

ють у разі неможливості виконання кривої повороту гнучкого композитного трубопроводу за рахунок пружного згину труби.

Фітинги встановлюють на кінцях гнучких композитних труб як в заводських, так і в польових умовах.

Встановлюють кінець гнучкої композитної труби в фітинг (чи навпаки) портативними з'єднувачами (гідравлічними пресами з зусиллям 55-240 тон) (рис. 8), механічними пристроями або спеціальними підвісками маніпуляторами, призначеними для гнучких композитних труб. Розміщеним на кінці гнучкої композитної труби з'єднувачем або спеціальною підвіскою маніпулятором треба вдавнити кінець гнучкої композитної труби в фітинг (чи навпаки). Після вдавлювання кінця гнучкої композитної труби в фітинг рівномірно обтискають сталеву втулку фітинга. Обтискання можна виконати з'єднувачем (якщо він для цього призначений) або обтискачем. Обтискання має забезпечити рівномірне щільне обтискання стінки гнучкої композитної труби фітингом, як її внутрішньої, так і зовнішньої поверхні. Для кожного діаметра кінцевого фітинга застосовують відповідні набори матриць для обтискачів.



**Рисунок 8 – Встановлення фітинга**

Гнучкі композитні трубопроводи мають невелику погонну вагу і модуль пружності, швидко і легко розмотуються з барабанів, бухт що дає змогу їх укласти в траншею різноманітними способами:

– витягування з рухомого розмотувального причепа, автомобільної платформи та одразу ж укладання у траншею боковим насунанням;

– витягування з рухомого розмотувального причепа, автомобільної платформи на ґрунт вздовж траншеї з подальшим, через деякий час, укладанням у траншею боковим насунанням;

– витягування з нерухомого розмотувального причепа, автомобільної платформи, розміщеної на землі А-подібної рами чи розмотувальної підставки вздовж траншеї з подальшим,

через деякий час, укладанням у траншею боковим насунанням;

– витягування з нерухомого розмотувального причепа, автомобільної платформи, розміщеної на землі А-подібної рами чи розмотувальної підставки з протягуванням дном траншеї.

Розміщений на ґрунті вздовж траншеї гнучкий композитний трубопровід укладають у траншею боковим насунанням автокраном, трубоукладачем або одноковшовим екскаватором (рис. 9), не допускаючи різких перегинань трубопроводу, особливо у місцях з'єднання труб. Для підтримування гнучкого композитного трубопроводу автокран, трубоукладач або одноковшовий екскаватор обладнують текстильною стрічкою шириною не менше 100 мм, м'яким полотнищем, трубопркатними роликками. Одноковшовий екскаватор можна обладнати спеціалізованою гідравлічною підвіскою (спеціально розробленою для укладання гнучких композитних трубопроводів). Застосування сталевих канатів неприпустимо. Безперервний процес укладальних робіт забезпечують пересуванням автокрана, трубоукладача або одноковшового екскаватора вздовж осі траншеї з одночасним припідніманням і зміщенням трубопроводу в траншею.

Якщо глибина траншеї не перевищує 3 м, легкі гнучкі композитні трубопроводи діаметром не більше ніж 150 мм можна укласти вручну без особливих засобів. У місцях глибших траншей гнучкий композитний трубопровід треба опускати м'якими полотнищами, текстильними стрічками.

Гнучкий композитний трубопровід можна укласти з монтажних дерев'яних перекладин, розміщених упоперек траншеї, на які попередньо упоперек треба насунути трубопровід.

У разі прокладання трубопроводу в місці вузької будівельної смуги на прямих ділянках траси доцільно укласти гнучкий композитний трубопровід витягуванням труби з нерухомого барабану, бухти і протягуванням її дном траншеї. Такий спосіб доцільний, якщо в траншеї або над нею є поперечні перешкоди (трубопроводи, лінії зв'язку, лінії електропередач тощо). Протягування виконують лебідкою, бульдозером, трактором, вантажівкою або іншим тяговим засобом, установленим у кінцевій точці цієї ділянки трубопроводу. Для протягування протяжних гнучких композитних труб застосовують тягові оголовки, які вкручують у монтажний різьбовий кінцевий фітинг.

На дні траншеї гнучкий композитний трубопровід може бути прокладений криволінійно.





Рисунок 9 – Укладання гнучкого композитного трубопроводу одноковшовим екскаватором



Рисунок 10 – Розміщення гнучких композитних труб на стоякових жолобах

З'єднувати гнучкий композитний трубопровід з надземним сталевим трубопроводом, технологічним обладнанням, фонтанною арматурою можна як на горизонтальній, так і на вертикальній ділянці сталевго трубопроводу тощо. Нахил сталевго трубопроводу вниз під кутом, близьким  $45^\circ$  до горизонталі, є найкращим для направлення гнучкого композитного трубопроводу в траншею.

У місцях, де гнучкий композитний трубопровід, підсилений скловолокном, виходить на поверхню землі для його кріплення до сталевго трубопроводу, технологічного обладнання, фонтанної арматури тощо, він повинен належним чином підтримуватись для захисту гнучкої композитної труби від переміщень ґрунту, зумовлених ущільненням ґрунту засипанням, заморожуванням і відтаненням ґрунту тощо. Якщо у місці, де гнучкий композитний трубопровід виходить на поверхню землі, середній кут нахилу підсиленого скловолокном гнучкого композитного трубопроводу до горизонталі пе-

ревищує  $45^\circ$ , а його довжина більше ніж 2,5 м, то влаштовують стоякові сталеві жолоби, які необхідно помістити в траншею. Стоякові сталеві жолоби можуть бути на кут  $45^\circ$  і  $90^\circ$  та S-подібно вигнутими швелерами. У місці початку і закінчення стоякового жолобу поміщають гумові прокладки для захисту гнучкої композитної труби від його країв. Гнучкі композитні труби розміщують на поверхні стоякового жолоба і закріплюють до нього металевими U-подібними скобами, під які для захисту гнучкої композитної труби поміщають гумові підкладки (рис. 10).

Гнучкі композитні трубопроводи на тимчасовий або постійний термін припустимо прокладати наземно поверхню землі без влаштування траншеї (рис. 11), наприклад, для випробування свердловин або перекачування пластових вод тощо. Таке прокладання припустиме тільки в безпечних місцях або в районах з дуже низькою щільністю населення. Наземно гнучкі композитні трубопроводи укладають з незнач-



Рисунок 11 – Наземно прокладені гнучкі композитні трубопроводи

ною криволінійністю, що дає змогу розширюватись або стискатись трубі від температурних перепадів під час її експлуатації. Щоб мінімізувати небажані переміщення наземно укладених гнучких композитних трубопроводів під час експлуатації, їх закріплюють на всіх кутах повороту з інтервалом не більше, ніж 150 м на довгих прямолінійних ділянках. Трубу закріплюють заглибленням у траншею на глибину від 0,6 м до 1,2 м та на довжину від 3 м до 8 м або присипають піском чи обкладають заповненими піском мішками.

У місці перетинання двох наземно прокладених гнучких композитних трубопроводів верхній треба укладати на опори, виконані з мішків, заповнених піском або м'яким ґрунтом.

Через автомобільні дороги Іа, Іб, ІІ, ІІІ, ІV-п, ІV категорій та залізниці гнучкі композитні трубопроводи прокладають у захисному кожусі з сталевих труб діаметром не менше ніж на 200 мм більше діаметра гнучкої композитної труби. Прокладають гнучку композитну трубу у кожуху протягуванням. Для цього не потрібні опорно-центруючі кільця (як для сталевих робочих трубопроводів).

У кожусі гнучку композитну трубу розміщують “змієюю”, що компенсує незначні зміни довжини трубопроводу під час його експлуатації. Міжтрубний простір між кожухом і гнучкою композитною трубою герметизують таким чином, щоб була забезпечена його герметичність і не відбувалось потрапляння у нього води та бруду. Доцільним є приварювання фланця в місцях початку і закінчення кожуха і поміщення захисного гумового рукава, пластикової втулки на гнучку композитну трубу в місці фланця. Для запобігання виникненню значних напружень згину, зумовлених осіданням ґрунту в місці виходу гнучкого композитного трубопроводу з кожуха, він повинен бути додатково захищений. Ґрунт у місцях входу і виходу гну-

чкої композитної труби з кожуха ущільнюють. Трубу у цьому місці підсипають і присипають піском. Доцільним є підкладання під трубу і кінці кожуха мішків із піском.

З гнучких композитних труб припустимо будувати переходи через водні перешкоди і болота у місцях відсутності ерозії дна і берегів. Через болота та обводнені ділянки гнучкі композитні трубопроводи прокладають протягуванням лебідками або іншими тяговими засобами.

Також гнучкі композитні трубопроводи можна прокладати безтраншейно – похило скерованим бурінням. Протягування гнучкої композитної труби в свердловину виконують з розмотувального причепа, розміщеної на землі А-подібної рами, розмотувальної підставки. Розмотувальний причеп, А-подібну раму, розмотувальну підставку розміщують таким чином, щоб гнучка композитна труба могла з барабану, бухти подаватись одразу в свердловину. Припустимо виконати протягування в свердловину до 2000 м гнучкої композитної труби.

Гнучкі композитні труби все ширше застосовують для безтраншейної реконструкції дефектних, зношених сталевих трубопровідних комунікацій. Можна виконати протягування до 3000 м гнучкої композитної труби в сталевий трубопровід (метод “труба в трубі”) (рис. 12). Як і в свердловину, протягування гнучкої композитної труби в зношений сталевий трубопровід виконують з розмотувального причепа, розміщеної на землі А-подібної рами, розмотувальної підставки.

Оскільки гнучкі композитні труби можуть експлуатуватись під тиском, більшим ніж сталеві, після виконання реконструкції можна збільшити тиск на вході трубопроводу і встановити регулятор тиску на виході. Виконавши такі роботи, можна збільшити продуктивність тру-



**Рисунок 12 – Реконструкція трубопроводу протягуванням в нього гнучкої композитної труби**

бопроводу порівняно з тією, якою вона була до безтраншейної реконструкції.

Внутрішнім шаром гнучких композитних труб є поліетилен високої щільності. Він є майже герметичним, але невелика кількість газів  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  і  $\text{H}_2\text{O}$  може проникати крізь нього. Ці гази накопичуються у міжтрубному просторі, в результаті чого може випинатись зовнішня оболонка гнучкої композитної труби. Щоб цього не відбувалось, гнучкі композитні труби обладнують системою вентиляції, яка повинна забезпечувати перетікання газів до кінцевих фітінгів, де вони мають виходити назовні крізь вентиляційні отвори. Система вентиляції може бути приєднана до випускного колектора, з якого гази з міжтрубного простору повинні виходити в атмосферу. Кінцеві фітінги можуть мати вхідні вентиляльні клапани, які дають змогу накопиченим у міжтрубному просторі газам витікати за тисків, вищих атмосферного, перешкоджаючи потраплянню кисню, води або інших середовищ у кінцеві фітінги.

Внутрішню порожнину гнучких композитних трубопроводів очищують промиванням водою з пропусканням очисного поршня. Застосовують еластичні, поролонові або пінні середньої щільності очисні поршні. Еластичні поршні виготовляють з уретану низької і середньої жорсткості, поліуретану та інших гумових еластомерів (допустимі інші еластичні матеріали).

Випробовують гнучкі композитні трубопроводи тільки гідравлічно. Тиск води в гнучкому композитному трубопроводі підвищують поступово. Якщо він досягає 3 МПа, доцільно зупинити підвищення на термін від 5 хвилин до 15 хвилин та переконатись у відсутності витоків.

Під час випробування на міцність випробувальний тиск води в гнучкому композитному

трубопроводі повинен складати від  $1,25 \cdot P_{роб}$  до  $1,5 \cdot P_{роб}$  залежно від характеристик труб ( $P_{роб}$  – робочий тиск). Накачана до випробувального тиску гнучка композитна труба збільшує свій внутрішній об'єм від навантаження на підсилюючі елементи, і тиск в ній зменшується. Цей ефект називається кондиціонуванням, і він не відбувається з постійною швидкістю. Об'єм трубопроводу спочатку зростає відносно швидко, потім поступово сповільнюється зростання об'єму (зростання об'єму відбувається за логарифмічною кривою). Кондиціонування гнучкої композитної труби має відбуватись протягом, як правило, декількох годин. Якщо кондиціонування відбулося, воно не має повторюватись.

На початку випробування тиск піднімають до номінального випробувального, але не більше максимального випробувального тиску. Тоді контролюють тиск кожні 15 хвилин протягом не менше однієї години. Через годину тиск знову збільшують до номінального випробувального. Тоді знову контролюють тиск кожні 15 хвилин протягом не менше однієї години і порівнюють результати з результатами попереднього контролювання. Якщо падіння тиску менше, ніж було зафіксовано під час першої години вимірювання, труба розширюється, а не відбувається витікання. Номінальний випробувальний тиск приймають на 4-10 % більшим випробувального тиску.

Якщо падіння тиску не уповільнюється з часом (швидкість падіння тиску є постійною або збільшується), випробування продовжують протягом ще двох додаткових годинних циклів, щоб переконатися, що падіння тиску не є кондиціонуванням. Якщо швидкість падіння тиску залишається постійною або збільшується, то падіння тиску зумовлене витоком, і його треба виявити. Як правило, витoki бувають у випро-

бувальних заглушках, випробувальному обладнанні або фланцевих з'єднаннях. Якщо після такого перевіряння не виявлено витоків, а зменшення швидкості падіння тиску не відбувається, то це є ознакою витoku з гнучкого композитного трубопроводу. Витік з трубопроводу є досить рідкісним і найімовірнішою його причиною може бути несправність кінцевого фітинга або його неправильне встановлення.

Якщо після виконання кількарізних годинних циклів (як описано вище) падіння тиску для кожного циклу зменшується, кондиціонування вважається завершеним і тиск в трубопроводі піднімають до номінального випробувального та утримують протягом усього часу випробування. Реєструвати тиск треба безперервно (якщо це можливо) або через 15-хвилинні інтервали. Протягом часу випробування допустиме незначне падіння тиску, при цьому швидкість падіння тиску повинна зменшуватися протягом усього часу випробування.

Перевіряння гнучкого композитного трубопроводу на герметичність виконується тиском від  $P_{роб}$  до  $1,25 P_{роб}$  протягом часу, потрібного для оглядання траси.

Під час перевіряння на герметичність оглядають усі з'єднання гнучких композитних труб (без винятку) з метою виявлення руйнувань або витоків. Якщо виявлено руйнування або витoki, з'єднання повинні бути замінені або відремонтовані тільки після зниження тиску до атмосферного. Після кожного ремонту випробування усієї ділянки треба повторити знову. Для забезпечення можливості контролю з'єднань гнучких композитних труб та контролю цілісності ділянки в місцях виходу труби з ґрунту до завершення випробування місця з'єднань не засипають (по 600 мм від місця з'єднання).

Після завершення перевіряння гнучкого композитного трубопроводу на герметичність поступово знижують тиск і видаляють з трубопроводу воду. Після зниження тиску оглядають кінцеві фітинги для виявлення будь-яких ознак залишкових деформацій або пошкоджень як на трубі, так і на кінцевих фітингах. Воду з гнучкого композитного трубопроводу видаляють пропусканням еластичного поршня під тиском повітря.

Після гідростатичного випробування, якщо гнучкі композитні труби мають вентиляльні клапани або вентиляційні отвори в кінцевих фітингах, випробовують газовідвідну систему. Процедура випробування газовідвідної системи виконується натисканням на внутрішню стінку гнучкого композитного трубопроводу повітрям

або азотом, які подають під проектним тиском в один кінець трубопроводу, і перевірянням наявності потоку на вентиляційних отворах кожного кінцевого фітинга. Процедуру повторюють з протилежного кінця труби. Усі вентиляльні клапани перевіряють на скидання тиску.

### Висновки

Переваги новітніх гнучких композитних труб над сталевими є очевидними і полягають у суттєвому зменшенні тривалості та вартості будівництва та обслуговування трубопроводів високого тиску. Це досягається за рахунок гнучкості, міцності і корозійної стійкості таких труб. Гнучкість труб дає змогу їх намотувати на барабани, упаковувати в бухти, завдяки чому вони є довгомірними, що, в свою чергу, суттєво зменшує кількість з'єднань труб. Розглянуті сучасні технології та засоби дають змогу максимально швидко розмотати гнучкі композитні труби з барабанів, бухт, з'єднати їх та укласти в траншею меншої ширини, ніж для сталевих трубопроводів.

Застосування гнучких композитних труб в Україні дасть змогу у стислі терміни вводити в експлуатацію нові свердловини, нові родовища, що вплине на темпи нарощування видобування газу та нафти.

### Література

1. Wellstream flexsteel™ flexible steel pipe : Technical, operating, and maintenance manual. Wellstream International Limited, 2016. 69 p.
2. Spoolable composite pipelines / B. Weller. Houston: Shawcor, 2018. 33 p.
3. Fiberspar LinePipe : Engineering Guide Rev. Fiberspar Corporation, 2011. 66 p.
4. API 15S: 2016 Spoolable reinforced plastic line pipe.
5. API RP 15S: 2016 Qualification of Spoolable reinforced plastic line pipe.
6. API 17J: Specification for Unbonded Flexible Pipe.
7. ASTM F2805 – 11 Standard Specification for Multilayer Thermoplastic And Flexible Steel Pipe And Connections.

### References

1. Wellstream flexsteel™ flexible steel pipe : Technical, operating, and maintenance manual. Wellstream International Limited, 2016. 69 p.
2. Spoolable composite pipelines / B. Weller. Houston: Shawcor, 2018. 33 p.

3. Fiberspar LinePipe : Engineering Guide Rev. Fiberspar Corporation, 2011. 66 p.

4. API 15S: 2016 Spoolable reinforced plastic line pipe.

5. API RP 15S: 2016 Qualification of Spoolable reinforced plastic line pipe.

6. API 17J: Specification for Unbonded Flexible Pipe.

7. ASTM F2805 – 11 Standard Specification for Multilayer Thermoplastic And Flexible Steel Pipe And Connections.