

ПОЛІМЕРНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ СПОРУДЖЕННЯ ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМ

М.В.Панчук, Л.С.Шлапак, М.Д.Гриценко

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 506612,
e-mail: ztk@nimg.edu.ua

Rozглянуто основні матеріали для виготовлення поліетиленових трубопроводів. Наведені властивості полімерних труб та переваги їхнього використання в різних трубопроводних системах

Ключові слова: пластмаси, полімерні матеріали, склопластикові труби, зварювання, якість

Rассмотрены основные материалы для изготовления полиэтиленовых трубопроводов. Приведены свойства полимерных труб и преимущества их использования в разных трубопроводных системах.

Ключевые слова: пластмассы, полимерные материалы, стеклопластиковые трубы, сварка, качество

Basic materials for making of polyethylene pipelines are considered. Properties of polymeric pipes and advantages of their using in the different pipeline systems are resulted

Keywords: plastics, polymeric materials, welding and quality, glass-plastic pipes, welding, quality

Однією з нагальних проблем трубопроводних систем України є її захист від корозійного впливу. Внаслідок певних технологічних причин та довготривалої експлуатації ресурс труб вичерпується і, відповідно, стрімко збільшується аварійність старих металевих трубопроводів. Вони, як часто буває, вимагають капітального ремонту або заміни, що пов'язано зі значними капіталовкладеннями. Тому постає питання максимального збільшення ресурсу трубопроводу.

Якщо раніше цю проблему вирішували за допомогою ізолювання труб та нанесення на їхні внутрішні та зовнішні поверхні захисних покриттів, то з 50-х років минулого століття розпочалося промислове виготовлення полімерних труб, які швидко завоювали ринок, і тепер є найбільш застосовуваним матеріалом для виготовлення якісних, міцних і довговічних трубопроводів.

Трубопроводи з полімерних матеріалів мають низку переваг, що полягають у тривалому терміні експлуатації, стійкості до тиску і температури, корозійній стійкості до зовнішнього та транспортованого середовища, високій еластичності та ударній міцності, низькій газопроникності, простоті та надійності їх з'єднання, технологічності та економічності виготовлення цих труб і з'єднувальних деталей до них.

Пластмасами називаються багатокомпонентні системи, що складаються з полімеру, який є основним компонентом, та добавок. Добавки, що входять до складу пластмас, слугують стабілізаторами, пластифікаторами, барвниками, наповнювачами. Кожна з цих добавок виконує певні функції. Так, стабілізатори потрібні для підвищення стійкості пластмас до дії світла, сонячної радіації, тепла, тобто чинників, що сприяють розвитку ланцюгової реакції розпаду макромолекул полімеру. Пластифікатори покращують технологічні та експлуатаційні властивості матеріалу. Наповнювачі, як правило,

сприяють збільшенню міцності, покращенню діелектричних властивостей, хімічної стійкості. Їх вводять також із метою економії полімерної основи полімеру.

Полімери – це високомолекулярні речовини, макромолекули яких складаються з великої кількості елементарних структурних одиниць, що повторюються – мономерних ланок. Число елементарних одиниць в макромолекулі характеризує ступінь полімеризації молекули.

Властивості полімерів визначаються їхньою структурною будовою та залежать від кількості мономерних ланок, тобто від довжини ланцюга та від типу і кількості радикалів, а також від взаємного розміщення ланок ланцюга та радикалів. Взаємне розміщення макромолекул може бути різним і залежить від їхньої розгалуженості.

Внаслідок різнопланових структуроутворюючих факторів була розроблена велика кількість полімерів з різними характеристиками, а вчені отримали можливість «конструювати» матеріали з наперед заданими властивостями.

Керування властивостями термопластів можливе за рахунок зміни їхньої молекулярної маси та просторового розміщення груп мономерних ланок у межах кожної макромолекули. Дієвим способом зміни властивостей термопластів є співполімеризація, при якій відбувається одночасна полімеризація двох або кількох вихідних мономерних речовин.

Найбільш поширені конструкційні пластмаси для виготовлення труб наведені в табл. 1.

Основним критерієм матеріалів для полімерних труб є показник мінімальної тривалої міцності MRC (minimum required strength), що вимірюється в МПа. MRC – це напруження, отримане шляхом екстраполяції на термін служби 50 років за температури 20°C до внутрішнього гідростатичного тиску (рис. 1).

Одним із матеріалів, які найширше використовуються для виготовлення неметалевих трубопроводів є поліетилен.

Таблиця 1 – Матеріали для пластмасових трубопроводів [1]

Структурна формула	Матеріал	Умовні позначення	
		українські	міжнародні
$\left[\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} \right]_n$	Поліетилен: низької щільності; середньої щільності; високої щільності	ПЕ ПНГ ПСГ ПВГ	PE PELD PEMD PEHD
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \quad \quad \\ -\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}- \\ \quad \quad \quad \\ \text{H} \quad \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \quad \quad \\ -\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}- \\ \quad \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	Зшитий поліетилен 1) залежно від способу зшивання та захисту від дифузії кисню: пероксидний; органосилоксанами; радіаційний; 2) з протикисневим дифузійним бар'єром з: алюмінію; етиленвінілового спирту	ПЕС	PEX PEXa PEXb PEXc PEXa-Al-PEXa PEXa-EVOH
$\left[\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{CH}_2 \end{array} \right]_n$	Поліпропілен: гомополімер тип 1; блоксополімер тип 2; рандом співполімер тип 3; з протикисневим дифузійним бар'єром із алюмінію	ПП	PP PPH PPB PPR PPR-Al-PPR
$\left[\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \end{array} \right]_n$	Полібутилен із протикисневим дифузійним бар'єром з етиленвінілового спирту	ПБ	PB PB-EVOH
$\left[\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{Cl} \end{array} \right]_n$	Полівінілхлорид (непластифікований)	НПВХ	PVC-U
$\left[\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{Cl} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{Cl} \end{array} \right]_n$	Хлорований полівінілхлорид	ПВХХ	PVCC
	Склопластики зі сполучними з: епоксидних смол; поліефірних смол		GRE GRP

Поліетилен – оптимальний матеріал для газопровідних систем з тиском до 1,2 МПа. Інші полімерні матеріали за своїми технологічними, фізико-механічними та ціновими параметрами, поки що не можуть скласти конкуренції трубам з поліетилену.

Поліетилен – це термопласт, який отримують шляхом полімеризації продуктів переробки нафти в середовищі газу етилену C₂H₄. При цьому молекули етилену полімеризуються у високомолекулярну сполуку – поліетилен [-CH₂-CH₂-]_n. Такий полімер (без розгалужень від вуглецевого ланцюга) називають лінійним.

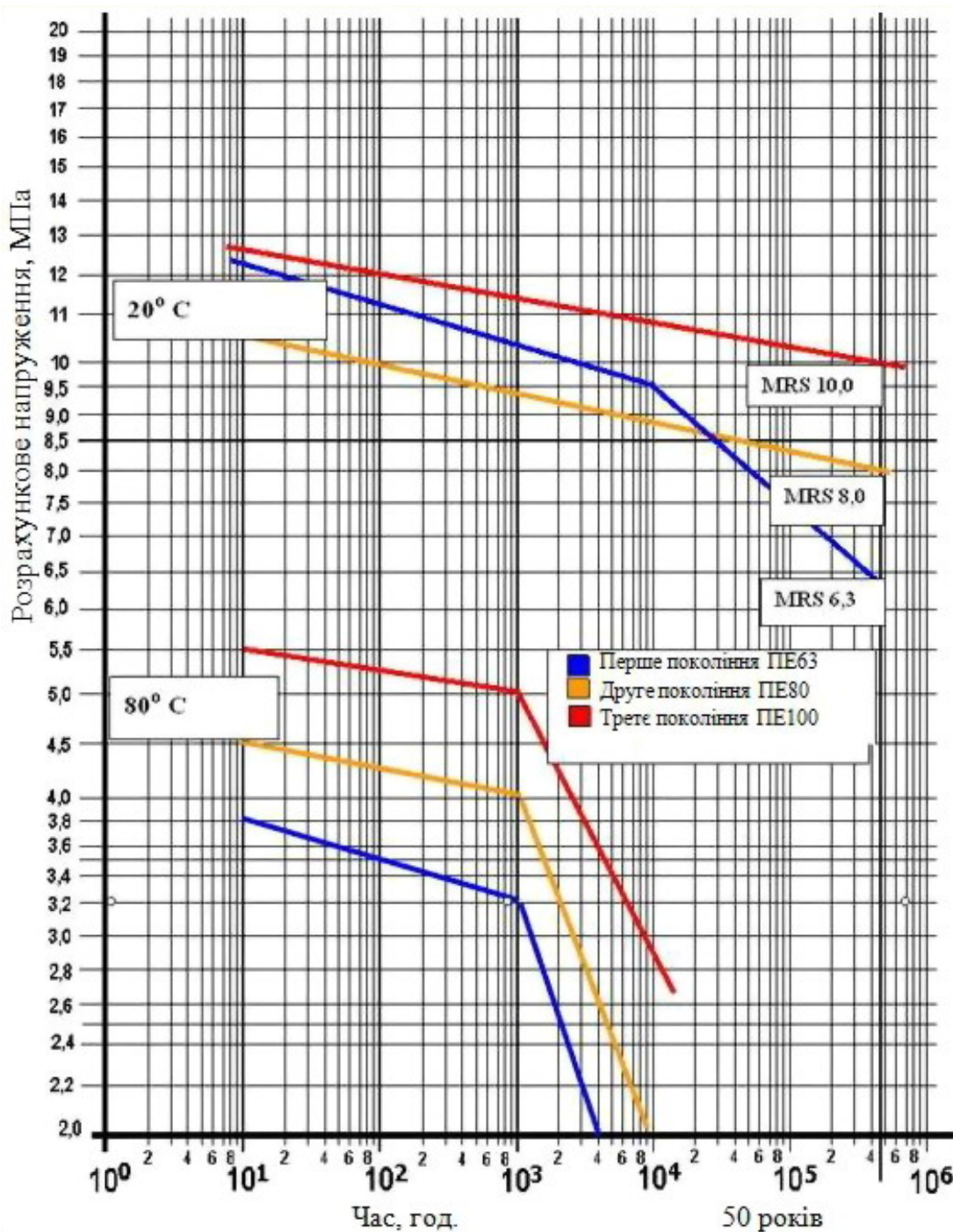
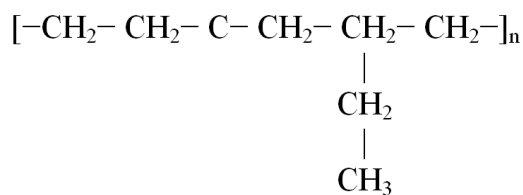
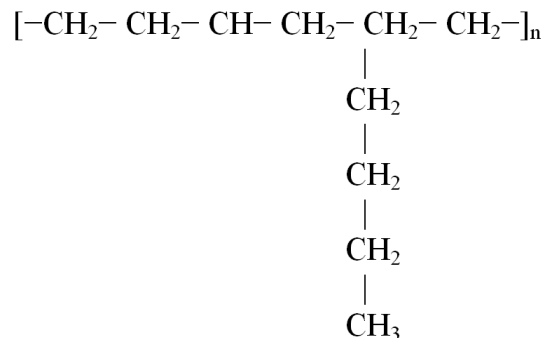


Рисунок 1 – Залежність розрахункових напружень у поліетилені PE63, PE80 і PE100 від терміну експлуатації

Для спорудження розподільчих газопроводів в Україні використовують труби з поліетилену марок PE80:



PE100:



Труби з поліетилену марки ПЕ100 мають вищий показник МРС, тому їх доцільно використовувати для реновації старих металевих трубопроводів. Ці трубопроводи, порівняно з рівномірними марки ПЕ80 дешевші, легші, менше змінюють пропускну здатність газопроводів, проте і легше деформуються.

Поліетиленові трубопровідні системи мають дуже низькі гідравлічні втрати тиску газу, крім того, в них відсутні витоки газу [2]. При цьому варто відзначити наявність широкого переліку вимог до таких трубопровідних систем. На даний час існує повний перелік вимог Міжнародної Організації зі Стандартизації для сировини, труб та з'єднувальних деталей, виготовлених із поліетилену. Для зварювання поліетиленових труб також існують нормативні документи. Більшість вимог для поліетиленових трубопровідних газорозподільчих систем враховують новітні технологічні та конструкторські розробки.

Труби з поліетилену широко використовуються в трубопроводах для транспортування нафти та нафтопродуктів, а також у технологічних трубопроводах. Важливим є той факт, що під час тривалої експлуатації внутрішній переріз труби не зменшується через заростання його відкладеннями. Це пояснюється надзвичайно низькою адгезією транспортованого продукту або його осаду зі стінками труби через надзвичайно низький дипольний момент поліетилену (табл. 2). Відсутність «наросту» на стінках труби зменшує втрати тиску під час транспортування продукту.

Таблиця 2 – Залежність адгезійних властивостей полімеру від величини дипольного моменту мономера

№	Мономер	Дипольний момент	Адгезійна здатність
1.	Етилен	0	відсутня
2.	Вінілхлорид	1.44	задовільна
3.	Вінілацетат (основа смол склопластиків)	1.75	добра

Раціональним є використання поліетиленових труб для напірного гідротранспорту розчинів та руд [3]. На Вільногірському гірничо-металургійному комбінаті на деяких ділянках магістралей гідротранспортного комплексу сталеві труби були замінені трубами з поліетилену. В результаті проведених промислових випробувань встановлено:

– поліетиленові труби можна використовувати для напірного гідротранспорту на рівні одночасно зі сталевими;

– в існуючих економічних умовах з урахуванням характеристик гідротранспортного комплексу підприємства рентабельним є використання поліетиленових труб типу ПЕ80, діаметром 630 мм., SDR – 21, на ділянках магістралі з тиском пульпи не більше 6 атм;

– сектор місцевого зношування у поліетиленових труб у декілька раз менший, ніж у ста-

левих, що дає можливість довше експлуатувати їх за рахунок поворотів навколо поздовжньої осі;

– з'єднання поліетиленових труб супроводжується істотним утворенням грату, що необхідно враховувати під час розрахунків гідравлічного опору та критичної швидкості;

– стан поверхні поліетиленових труб в процесі експлуатації змінюється двояко: з одного боку, зношуванню підлягають виступаючі краї зварних швів, що знижує гідравлічний ухил, а з іншого, – внутрішня поверхня труби стає більш шорсткою, що збільшує гідравлічний опір.

Для більш складних умов роботи газорозподільних систем розроблено спеціальні полімерні трубопровідні системи. Одним із таких матеріалів є «зшитий поліетилен». Під терміном «зшитий поліетилен» (РЕХ) розуміють поліетилен, у якого високомолекулярні лінійні ділянки макромолекул за відповідною технологією з'єднуються (зшиваються) між собою поперечними зв'язками зі створенням тривимірної сітчастої структури. Після зшивання матеріал зберігає свої властивості пластика. Поліетилен – єдиний із термопластичних матеріалів, придатний для зшивання молекулярних ланцюжків у сітчасту структуру. Зшивання поліетилену відбувається за допомогою кількох технологій. Спосіб зшивання зазначається в маркуванні труби першими буквами латинського алфавіту: а, b та с.

– пероксидний поліетилен, РЕХ-а, отримують за допомогою введення в сировину пероксидних сполук (ступінь зшивання становить 85%);

– силановий поліетилен, РЕХ-б, отримують шляхом обробки сировини органосилоксанами (ступінь зшивання – не менше 65%);

– радіаційний поліетилен, РЕХ-с, отримують шляхом радіаційного опромінювання готової труби (ступінь зшивання – 65%).

Зшитий поліетилен у порівнянні зі звичайним є більш стійким до дії високих температур та зберігає при цьому підвищені механічні властивості, а також характеризується добрим термоусадженням. Завдяки зшиванню покращуються такі показники, як тривала міцність, хімічна стійкість, стійкість до розтріскування, ударостійкість та морозостійкість. РЕХ-с призначений для використання в умовах, де такі властивості є важливими, наприклад, для прокладання трубопроводів у «складних» ґрунтах.

Разом із трубами, виготовленими зі зшитого поліетилену РЕХ-с, для застосування в таких умовах використовуються здебільшого труби в захисній оболонці.

Багатошарові труби мають захисну оболонку та внутрішню міцну трубу зі стійкого поліетилену, який попереджає появу тріщин. Навколо внутрішньої труби знаходиться додаткова захисна оболонка з модифікованого поліпропілену. Захисна оболонка оберігає трубу від стирання та тріщин, які можуть виникнути при безтраншейному прокладанні трубопроводу.

При терморезисторному зварюванні захисну плівку можна легко зачистити під фасонні з'єднувальні деталі, а для виконання стикового зварювання така операція не є обов'язковою.

Нові технології прокладання поліетиленових трубопроводів у відкритих траншеях без піскової підсіпки або безтраншейні технології спорудження розподільчих газових мереж вимагають високої міцності матеріалу. Труби з високоміцного поліетилену і захисною оболонкою та труби зі зшитого поліетилену РЕХ-с відповідають підвищеним вимогам до прокладання трубопроводів.

У деяких країнах Євросоюзу, зокрема Нідерландах, газорозподільчі мережі працюють за тиску, що не перевищує 0.1 бар. Для такої системи оптимальним вибором матеріалу може бути полівінілхлорид [2]. Полівінілхлорид – це продукт полімеризації хлористого вінілу – широко поширений матеріал для виготовлення напірних та безнапірних трубопроводів.

Монтаж труб із полівінілхлориду виконується з використанням розтрубних з'єднань з гумовим ущільненням. До переваг такого методу слід віднести можливість легкого демонтажу будь-якої ділянки трубопроводу. Серед основних недоліків – неможливість використання труб у бухтах. Досвід роботи з такою системою показав низький рівень відмов, а кількість витоків газу співмірна з кількістю витоків у поліетиленових трубопровідних системах.

Поліпропілен – термопластичний полімер, для якого характерні висока ударна міцність (ударна в'язкість з надрізом 5-12 кДж/м²), висока стійкість до багаторазових згинів, низька паротакопроникність. За зносостійкістю його можна порівняти до поліамідів. Поліпропілен – хороший діелектрик, погано проводить тепло. Він не розчиняється в органічних розчинах, стійкий до киплячої води та лугів, але темніє та руйнується під дією HNO₃, H₂SO₄ та хлорової суміші. Поліпропілен має низькі термостійкість та світлостійкість, тому до його складу вводять спеціальні добавки – стабілізатори полімерних матеріалів.

На даний час арматура та труби з поліпропілену найширше використовуються для трубопровідних систем питної та технічної води, опалення, також поліпропіленові труби можуть використовуватися для транспорту хімічно агресивних середовищ.

Полібутилен (РВ або ПБ), що часто називають полібутеном, який добре зарекомендував себе як матеріал для трубопровідних систем опалення й гарячого водопостачання. Характеризується високою стійкістю до розтріскування під напруженням, низькою повзучістю при тривалих механічних навантаженнях, високою зносостійкістю, термостійкістю та стійкістю до ультрафіолетових променів. Матеріал має МРС 12,5 і 14 МПа. У нас полібутилен і труби з нього не виготовляються, готові труби не імпортуються.

До унікальних термопластичних матеріалів відносяться фторполімери (фторопласти). Фторполімери – узагальнена технічна назва

фторпохідних полімерів етиленового ряду. Ці речовини володіють високою хімічною та термичною стійкістю, не підлягають дії ультрафіолетового та γ-випромінювань, є фізіологічно інертними. Старіння фторполімерів відбувається дуже повільно.

Труби з фторопласту мають широкий температурний діапазон експлуатації (від 100 до 220°C), а деякі модифікації – аж до 250°C. Виготовляють такі труби діаметрами від 20 до 600 мм. Водночас із тим, цей матеріал володіє такою властивістю, як холодноплинність – здатність матеріалу незворотно деформуватися під дією механічних навантажень за кімнатної температури, що не дозволяє використовувати його при високих тисках без конструктивного захисту. Тому труби з фторопласту, в основному, використовують для футерування сталевих труб, а з'єднуються вони між собою за допомогою сталевих фланців.

Інший важливий і принципово новий напрямок у виробництві труб – поліетиленові армовані синтетичними нитками труби (ПАСНТ).

Поліетиленові труби, армовані синтетичними нитками, призначені для будівництва трубопроводів із робочим тиском до 4.0 МПа за температури транспортованої рідини +80°C. Зовнішній діаметр труб становить 63; 90; 110; 125; 140; 160 мм. Труби діаметром 63-І25 мм можуть надходити в бухтах довжинами до 400 і до 170 м відповідно. Розрахунковий термін експлуатації таких труб на нафтопромислах – 25 років.

Поліетилен і поліефірні нитки, які використовуються для армування, мають достатню хімічну стійкість до всіх речовин, які містяться в продукції свердловин, а внутрішня поверхня залишається гладкою впродовж усього терміну експлуатації.

З'єднання ПАСНТ здійснюються зварюванням. Зварювання при цьому відбувається у два етапи: зварювання нагрітим елементом встик із подальшим видаленням зовнішнього ґрату і посилення зварного шва за допомогою з'єднувальних терморезисторних муфт. Осьова міцність шва, звареного встик, є меншою за міцність труби, тому для його посилення застосовується терморезисторне муфтове зварювання.

Варто зазначити, що завдяки спрямованому армуванню, яке створює квазікоміркову структуру в стінці труби, у випадку механічного пошкодження трубопроводу в процесі експлуатації виключається поширення тріщини на всю трубу, що відбувається при пошкодженні сталевих конструкцій.

Транспортування армованими поліетиленовими трубами газу та рідких середовищ за рахунок гладкості внутрішньої порожнини трубопроводу дає змогу заощаджувати 25% енергії порівняно з транспортуванням сталевими трубопроводами.

За однакової вхідної потужності швидкість потоку в армованому поліетиленовому трубопроводі на 20% вища, ніж у сталевому, що дає змогу досягти потрібної продуктивності поліетиленових труб меншого діаметру.

В Україні перший нафтопровід із поліетиленових армованих труб високого тиску був побудований СП «Каштан Петролеум Лтд» у серпні 2007 року. 700-метровий збірний трубопровід призначався для транспортування нафти і супутнього газу від нафтової свердловини №58 до ГЗУ-4 Леляківського родовища [4].

Сфера ефективного застосування ПАСНТ може бути поширена і на системи заводного нафтових пластів, технологічні водогони, від установок підготування подачі до кущової насосної станції. Робочий тиск у них – 1.6+2.5 МПа.

Для розширення областей використання поліетиленових труб за більш високих тисках розроблені і широко застосовуються на нафтопромислах комбіновані склопластикові труби нового покоління, а також поліетиленові армовані синтетичними нитками труби. Підсилення поліетиленової оболонки забезпечується або армуванням її зварним дротом каркасом (металопластикові труби) або формуванням на ній склопластикової оболонки (біпластмасові труби). Такі матеріали називаються композитними. Вони використовуються для розширення областей використання трубопроводного транспорту за більш високих тисках (понад 1.2 МПа). Великий клас полімерних композитних труб складають склопластикові труби.

Склопластики – композитні конструкційні матеріали, які поєднують у собі високу міцність із відносно невеликою густиною. У різних галузях промисловості вони успішно конкурують із такими традиційними матеріалами, як метали та їх сплави, бетон, скло, кераміка, дерево. У багатьох випадках конструкції, що відповідають спеціальним технічним вимогам, можуть бути виготовлені тільки зі склопластику. Вироби з цього матеріалу отримали особливо широке застосування в апаратах, призначених для роботи в екстремальних умовах: у кораблебудуванні, авіації та космічній техніці, обладнанні нафтохімічної та газовидобувної галузей.

Труби зі склопластику, а також труби, які використовуються для безнапірних систем трубопроводів, класифікуються за жорсткістю. Жорсткість труби (SN) визначається її здатністю чинити опір навантаженням від навколишнього ґрунту, а також внутрішнього тиску. Жорсткість залежить від модуля пружності матеріалу при деформації та від товщини стінки: чим товстіша стінка, тим вищою є жорсткість та опір навантаженням.

Світовим лідером у виробництві та споживанні виробів із композитних матеріалів є США, де їхнє промислове виробництво було налагоджене ще в 1944 р.

Під трубами із композитних матеріалів розуміють склопластикові, базальтопластикові, органопластикові або інші труби (залежно від типу арматурного наповнювача) з полімерним зв'язуючим із термореактивного матеріалу. Для композитних труб використовуються, як правило, епоксидні або поліефірні зв'язуючі.

Для виготовлення труб, залежно від призначення, місця і способу прокладання, можуть використовуватися різні матеріали:

- базальтові, скляні або вуглецеві волокна;
- синтетичні волокна з різних матеріалів;
- гуми, гумопласти та фторопласти різних марок;
- зв'язуючі матеріали на основі різних смол та клеєвих сумішей.

Апробований термін експлуатації склопластикових труб – 50 років. Хоча такі труби і дорожчі, ніж труби з вуглецевої сталі, але термін їхньої експлуатації на порядок вищий. У результаті економічний ефект є досить вагомим: з урахуванням часового фактора, використання сталевих труб обходиться в шість разів дорожче, ніж склопластикових. Загалом, завдяки нульовим витратам на експлуатацію склопластикових труб та відсутність необхідності їхньої заміни протягом усього терміну експлуатації родовищ, через п'ять років роботи досягається рівність приведених витрат на сталеві та склопластикові труби. Таким чином, великі нафтові компанії прийшли до висновку, що, не зважаючи на більші початкові фінансові витрати, композитні труби з технічної та екологічної точки зору, а також із позиції захисту навколишнього середовища є альтернативою трубам із вуглецевої сталі.

Наведений вище огляд трубних полімерних матеріалів та конструкцій з їхнім використанням показав велику їх різноманітність. Отже, під час будівництва та ремонту трубопроводних систем, слід враховувати наявність широкого вибору різних видів труб. Кожен із них має свої специфічні властивості, які тим чи іншим чином впливають на різні технологічні, економічні, міцнісні параметри майбутнього трубопроводу. Тому зрештою, зваживши всі варіанти, потрібно вибрати більш доцільні матеріали та конструкцію трубопроводу, які, з розрахунком на весь термін експлуатації, будуть найбільш вигідними з усіх точок зору.

Література

- 1 Бухин В.Е. Полимерные материалы, используемые при строительстве трубопроводов. / Бухин В.Е., Фаттахов М.М. // Трубопроводы и экология. – 2008. – №2. – С. 2-7.
- 2 Уолтес М. Полимеры, используемые в Европе при производстве труб для газораспределительных сетей. / Уолтес М., Виккеринк Б. // Полимерные трубы. – 2007. – №3 – С. 43-45.
- 3 Шурыгин В.Д. Применение полиэтиленовых труб для напорного транспорта россыпей и руд. / Шурыгин В.Д., Семенко Е.В. // Инженерные сети из полимерных материалов. – 2007. – №3 – С. 18-22.
- 4 Білека А.О. Будівництво та експлуатація нафтогазопроводів з ПАСНТ / Білека А.О., Гаркот О.В., Будкевич В.М. // Інженерні мережі з полімерних матеріалів. – 2009. – №1. – С. 22-24.

Стаття поступила в редакційну колегію
10.07.09

Рекомендована до друку професором
В. Я. Грудзом