

## **ПРО ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ У БУДІВНИЦТВІ. ТРУБОПРОВОДИ**

Сучасне будівництво, яке так швидко та інтенсивно розвивається останнім часом, вимагає застосування нових перспективних технологій. Застосування таких технологій передбачає збільшення ефективності будівельного виробництва, скорочення терміну виконання робіт та продовження строку експлуатації як окремих елементів, так і будівель в цілому. На сучасному етапі важливе місце в новітніх технологіях посідають полімерні матеріали.

Полімерні матеріали використовують у виробництві: а) теплоізоляційних матеріалів (продукції з полістіролу); б) оздоблювальних матеріалів (широкий спектр від малярських виробів до облицювальних панелей); в) світлопрозорого покриття (полікарбонатних панелей); г) заповнень світлових отворів, профілів для віконних та дверних рам; д) трубопроводів водо-, тепло-(холодо)постачання та водовідведення.

Темою нашої публікації є застосування полімерних матеріалів у виробництві трубопроводів водо-, тепло-(холод)постачання. Перш ніж детально розглянути це питання, ми зупинимося на привабливих властивостях полімерних матеріалів, що спонукають до активного використання їх у будівництві.

По-перше, це технологічність. Вироби із полімерної сировини (гранул) потрібної форми та розмірів отримують шляхом застосування технології екструзії (видавлювання) або лиття у прес-форми. Ці вироби легко піддаються механічній обробці для отримання кінцевого продукту — скажімо, елементу конструкції. При такій технологічній послідовності дуже незначними є втрати матеріалу та витрати енергії, що, власне, і зумовлює економічну ефективність цих технологій.

По-друге, це широкі можливості створення архітектурних форм і т. ін. Полімери легко набувають будь-якої форми, з'єднуються з іншими матеріалами та поверхнями, утворюють самостійні конструктивні елементи.

По-третє, це відносно невисока вартість виробів із полімерних матеріалів та роботи з ними. Звертаємо увагу, що в данному випадку вартість матеріалів та робіт необхідно відносити до терміну експлуатації або до експлуатаційних витрат.

Історія полімерних матеріалів почалась у 1913 р. із патенту на ім'я Фріца Клатте, який винайшов перший синтетичний продукт — полімерний матеріал PVC (полівінілхлорид). В процесі технологічного вдосконалення цей синтетичний продукт набув таких властивостей, які дозволили використати його як матеріал для трубопроводів водогону загального призначення, збудованого в 1938 р. в Німеччині, який успішно функціонує і до теперішнього часу.

У середині 60-х років XX ст. для побутових систем холодного та гарячого водопостачання були застосовані труби із полібутілену PB, який мав чудові фізичні показники, але не дуже прийнятну ціну. Саме цей факт спричинив пошуки іншого матеріалу, який мав би схожі фізичні властивості, але був дешевший та доступніший.

На початку 70-х років XX ст. відбулося впровадження в загальне використання труб із поліетилену PE. Високі гігієнічні показники та сукупність фізичних властивостей поліетилену в поєднанні з невисокою собівартістю зумовили насправді широке його використання. Проте технічна недосконалість труб із поліетилену PE невдовзі виявила себе: дифузія кисню спричинила корозію внутрішніх поверхонь опалювальних приладів та котлів із сталі.

Саме дифузія кисню дала новий поштовх у розвитку технології полімерних трубопроводів, в результаті чого паралельно із кисневозахищеними трубами із звичайного поліетилену з'явилися металополімерні труби.

Із середини 70-х років застосовується поліпропілен PP, який за своїми властивостями відрізняється від вищевказаних матеріалів, тому, як і PVC, займає окрему позицію, зокрема щодо способу з'єднання.

Нині усі наведені матеріали співіснують на ринку будівельних матеріалів для інженерних систем, і кожен з них має свою сферу застосування, в якій це застосування є оптимальним, насамперед за рахунок співвідношення фізичних властивостей.

Нам відомі чотири типи полімерів, які є похідними для виготовлення трубопроводів систем водо- та тепло-холодопостачання — полівінілхлорид PVC, поліпропілен PP, поліетилен PE, полібутілен PB. У переліку матеріали розташовані за збільшенням їх густини. Розрізняють полімери **жорсткої** та **гнучкої** групи. До групи жорстких

полімерів відносяться полівінілхлорид PVC та поліпропілен PP. Жорсткість матеріалів цієї групи чисельно відображена показником модуля Юнга ( $\text{Н/мм}^2$ ). Під впливом зовнішніх чинників у матеріалі виникає високе напруження (порівняно з групою гнучких полімерів), матеріал опирається навантаженню. Представники гнучких полімерів поліетилен PE та полібутілен PB мають нижчий показник модуля Юнга, тобто напруження в матеріалі під впливом навантаження невисоке, матеріал піддається деформації. Нижче ми розглянемо, як саме така класифікація впливає на застосування цих матеріалів в інженерних системах.

Необхідно зазначити, що фізичні властивості полімерних матеріалів безпосередньо залежать від мономеру, з якого вони складаються. Так, мономер поліетилену PE складається з двох атомів вуглецю та чотирьох атомів водню. Мономер полівінілхлориду PVC складається з двох атомів вуглецю, трьох атомів водню та одного атому хлору. Між собою мономери з'єднуються в процесі полімеризації однаково — за рахунок двох вільних валентних зв'язків атомів вуглецю, проте фізичні властивості цих матеріалів значно відрізняються.



**Поліетилен** — продукт полімеризації етилену, матеріал синтетичний, термопластичний, стійкий до впливу температури в межах від  $-60^\circ\text{C}$  до  $+100^\circ\text{C}$ . Полімеризація макромолекул поліетилену здійснюється одним способом, але при різних умовах отримуємо різний результат. Так, при полімеризації під тиском 120—320 МПа та температурі  $320^\circ\text{C}$  утворюється PE-LD — поліетилен низької щільності ( $0,92\text{—}0,94\text{ г/см}^3$ ), з низькою ступінню кристалізації — 50%, та великим видовженням на межі розриву — 600%. Якщо полімеризація проходить при тиску 5 МПа та температурі  $95^\circ\text{C}$ , то утворюється PE-HD — поліетилен високої щільності ( $0,95\text{—}0,96\text{ г/см}^3$ ), з високим ступенем кристалізації — 80%, максимальне видовження — 400%. Ступінь кристалізації поліетилену відображає співвідношення кількості ділянок

з аморфною та упорядкованою молекулярною структурою. Високий ступінь свідчить про жорсткість матеріалу, низьку пружність, крихкість та ламкість при низьких температурах. Низький ступінь кристалізації додає матеріалу гнучкості, більшої пружності. Задля комбінації цих властивостей використовується поліетилен середньої щільності — PE-MD, міцність, гнучкість та пружність якого дуже вигідно співвідносяться.

Кожна окрема макромолекула в структурі поліетилену має лінійну, ланцюгову структуру. Зв'язки між мономерами у макромолекулі досить потужні, оскільки мають хімічний характер. Між самими макромолекулами зв'язки носять міжмолекулярний характер, тому вони значно слабші. При нагріванні сили взаємодії між макромолекулами слабнуть, що свідчить про температурні обмеження при використанні поліетилену звичайної структури.

Щоб подолати температурні обмеження, поліетилен піддають додатковій обробці. Для додаткової обробки використовують технологію “зшивання”. Завдяки цьому методу модифікації довгі ланцюгові молекули зрощуються між собою в декількох місцях. Молекулярна структура перетворюється з розгалужено-ланцюгової на тривимірно-ланцюгову. Ступінь “зшитих” частин повинен складати щонайменше 60%, що значно поліпшує хімічну стійкість, ударну в'язкість, і найголовніше — термостійкість, внаслідок чого збільшується максимальна та робоча температура використання. Труби з такого матеріалу успішно експлуатуються при температурі до 95 °C, а критична становить 110 °C.

Існує декілька методів “зшивання” молекул поліетилену:

- **a** — хімічне “зшивання” за допомогою вільних радикалів, що зв'язують атоми водню з утворенням додаткових зв'язків між макромолекулами, досягається додаванням у матеріал присадки **Peroxide**. Труби з поліетилену, зшитого даним методом, потребують додаткового промивання для харчових водогонів. Хімічному “зшиванню” типу **a** властива термічна усадка, що погіршує фізичні властивості.
- **b** — хімічний спосіб зшивання, при якому у матеріал додається присадка **Silanem**. Хімічному “зшиванню” типу **b** властива термічна усадка. Труби з поліетилену, зшитого даним методом, також потребують додаткового промивання для харчових водогонів.

- **c** — “зшивання” за рахунок дії прискорених електронів відбувається шляхом звільнення валентних зв’язків вуглецю від водню, при цьому утворюються безпосередні зв’язки між ланцюгами макромолекул. Цей метод зшивання абсолютно безпечний та гігієнічний.
- **d** — метод, заснований на дії летючих сполук азоту, які виступають каталізаторами процесу “зшивання”.

У процесі вдосконалення технології виробництва поліетилену постає питання про якість використаної сировини. Так компанія DOW Chemical Company виробляє поліетилен у вигляді сировини під маркою DOWLEX 2344E; який є сополімером етилен-октену. Він відрізняється від звичайного поліетилену PE, сополімеру етилен-бутену.

Додаткові (бокові) ланцюжки лінійних молекул звичайного поліетилену утворюються молекулами бутену. Для утворення зв’язку головних ланцюгів у макромолекулі залучаються два з чотирьох атомів вуглецю молекули бутену. Тому вірогідність переплетіння між боковими ланцюжками у два атоми досить низька.

У матеріалі DOWLEX 2344E сополімером поліетилену виступає октен. Ці ланцюжки мають вісім атомів вуглецю, два — для утворення зв’язку в макромолекулі, шість — для переплетіння, тому воно набагато вірогідніше. Таке переплетіння надає матеріалу більшої міцності при довготривалому впливові високих температур та навантажень.

**Полібутілен** — термопластичний полімер, частково кристалізований. Завдяки меншому ступеню кристалізації та більш розгалуженій структурі мономеру полібутілен має кращі показники, ніж поліетилен. Дуже гнучкий, стійкий до сповзання, стирання, при напруженні не розтріскується. Застосовується там, де необхідна висока стабільність при великих напруженнях та температурі до 110 °C.

**Поліпропілен** — термопластичний полімер, властивості якого відрізняються від властивостей вищенаведених матеріалів. Діапазон температур, при яких можна застосовувати поліпропілен, складає від -5 °C до +90 °C.

При заміні в мономері поліетилену одного атому водню на метилову групу  $\text{CH}_3$  отримуємо мономер поліпропілену. В залежності від умов кристалізації та якості сировини, поліпропілен може приймати форми різної внутрішньої молекулярної структури. Із цих форм виділено три типи поліпропілену:

- **Гостален тип 1** — характеризується високою стійкістю до сповзання, великою жорсткістю і зниженою ударостійкістю при від'ємних температурах. Найбільше використовується у хімічній промисловості.
- **Гостален тип 2** — для даного типу характерна висока гнучкість при зниженій стійкості до сповзання, висока ударостійкість при від'ємних температурах. Використовується у хімічній промисловості (мембранні фільтраційні пластини, трубопроводи та муфти для мереж високого тиску, формувальні збірники), в теплотехніці (обігрівання підлоги, збірники гарячої води, сонячні колектори).
- **Гостален тип 3** — даному типу притаманна висока ударостійкість при низьких температурах та висока стійкість до сповзання. Використовується насамперед для виготовлення трубопроводів холодної та гарячої води.

Поліпропілен стійкий до солей, основ та інших хімічних речовин. Поліпропілен нестійкий до сильних окислювачів, таких як концентрована азотна кислота, сірчана кислоти, хлор, бром та деякі органічні сполуки. При використанні поліпропілен повинен бути захищеним від впливу ультрафіолетового випромінювання.

**Полівінілхлорид** — термопластичний матеріал, продукт полімеризації хлорвінілу. Широкого використання набув такий матеріал, як двічі хлорований полівінілхлорид (PVC-C). Цей матеріал відрізняється від звичайного PVC вищою стійкістю до впливу температур та навантажень.

Стійкість до хімічного впливу обох цих матеріалів приблизно однакова. Вони виявляють її до більшості безводних жирних кислот, мінеральних масел, промислових газів та багатьох інших, у тому числі до речовин застосовуваних у системах холодопостачання. Матеріал нестійкий до впливу ацетону, ефірів, бензин-бензольних сумішей, оцтової кислоти.

Полівінілхлорид серед усіх полімерів має найбільшу стійкість до впливу ультрафіолетового випромінювання, має найменше термічне видовження, найбільше значення коефіцієнта LOI — вміст кисню для підтримання горіння (43%, в атмосфері всього 22%). У порівнянні з поліпропіленом полівінілхлорид має більший умовний прохід при тому самому зовнішньому діаметрі трубопроводу. Застосовується для транспортування речовин при температурі до 95 °C.

Фізичні властивості полімерних матеріалів

Властивість	PVC	PP	PE	PB
Густина, г/см <sup>3</sup>	1,5	0,93	0,92	0,9
Напруження на межі пластичності, МПа	45—50	31—33	18	16,5
Міцність на розрив, МПа	60	44	27	33
Відносне видовження при розриві, %	10	800—1000	500	280
Модуль Юнга, Н/мм <sup>2</sup>	3700	1100	600	340
Теплопровідність, Вт/мК	0,17	0,22—0,24	0,43	0,22
Коефіцієнт лінійного видовження, мм/м	0,07	0,18	0,2	0,13
Температура розм'якшення згідно з Віатом °С	76-84	95	83	113

У внутрішніх сантехнічних системах, як правило, використовуються сталі трубопроводи. Це зумовлено доступністю даного матеріалу та можливістю його обробки безпосередньо на будмайданчику. Згадаймо будинки повоєнних років — системи опалення та водопостачання в них були зібрані на різьбах та фітингах. З появою зварювального обладнання та застосування індустріальних методів будівництва (60-ті роки) обробка сталених труб була перенесена на трубозаготівельні виробництва.

Серед переваг сталених трубопроводів необхідно виділити (табл. 1):

1. Жорсткість труб, як наслідок — незначна кількість кріплень.
2. Стійкість до механічних пошкоджень.
3. Низькі температурні видовження.
4. Виготовлення з'єднання трубопроводів та арматури із самих труб.

Проте труби зі сталі мають і недоліки:

1. Низька корозійна стійкість, як наслідок — малий термін експлуатації.
2. Інкрустація внутрішньої поверхні — зменшення умовного проходу.

3. Висока жорсткість внутрішньої поверхні — обмеження швидкостей, шумове навантаження.

4. Нестійкість до блукаючих токів, що викликає електрохімічну корозію.

В сантехнічних системах були спроби замінити сталі труби на мідні, зважаючи на більший термін експлуатації, меншу масу, та можливість не індустріального методу проведення монтажу. Але у зв'язку з корозією міді є необхідність застосовувати у системі допоміжне обладнання для забезпечення нормальної експлуатації.

Від металевих труб полімерні відрізняються такими загальними якостями:

1. Термін експлуатації понад 50 років.
2. Мала маса труб — маса 200 м труби діаметром 18 мм дорівнює 18 кг.
3. Дуже низька жорсткість внутрішньої поверхні труби — низький гідравлічний опір.

4. Відсутність інкрустації.

5. Стійкість до блукаючих токів.

6. Висока гігієнічність матеріалів.

7. Стійкість до агресивних речовин.

8. Монтаж виконується ручним інструментом.

Проте всім полімерам властиві недоліки:

1. Низька стійкість до механічних пошкоджень.

2. Велике термічне видовження.

3. Схильність до дифузії кисню.

4. Нестійкість до впливу ультрафіолетового випромінювання.

Ці проблеми вирішуються шляхом системного підходу щодо використання полімерних труб.

Завдяки гнучкості та пружності полімерів гнучкої групи, до них можливо застосовувати методи прихованого прокладання. Сховані у будівельних конструкціях трубопроводи захищені від механічних пошкоджень та дії ультрафіолетового випромінювання. Термічне видовження відбувається за рахунок самокомпенсації, на П-подібних компенсаторах, на компенсаційних муфтах або за рахунок розташування труб в захисних каналах. Захист від дифузії кисню (питання стосується систем опалення) вирішується двома технологічними способами: 1) нанесення поверхневого шару із полівінілалкоголю або аналогічних матеріалів, який знижує дифузію кисню до регламентованого рівня — менше 1 мл на м<sup>3</sup> за добу; 2) застосування проміжного шару із алюмінію, який повністю захищає теплоносій від дифузії кисню.



Методи з'єднання труб можна чітко розділити за класифікацією матеріалу, з якого вони виготовлені, тобто співвідносно до групи жорстких чи гнучких полімерів.

З'єднання труб з жорстких полімерів характерно тим, що фасонні елементи виконані з того ж матеріалу, що і труба. Власне з'єднання виконується між трубою та однією з частин фітингу відповідного діаметра. Технологія з'єднання полягає у полідифузійному склеюванні двох елементів, виконаних із одного матеріалу. Тобто матеріал на відповідних поверхнях труби (зовнішня) та фітингу (внутрішня), на глибину, позначену упором у фітингу, приводиться у рідкий (розріджений) стан, після чого поверхні механічно зістиковуються. Між розрідженими поверхнями у стані тісного контакту відбувається змішування (дифузія) та взаємна полімеризація макромолекул матеріалу обох елементів — труби та фітингу. При поперечному розтині такого з'єднання можна дослідити однорідність, суцільність матеріалу без чітко відображеної смуги відокремлення. Стан розрідження матеріалу на поверхні з'єднання досягається для різних матеріалів різними способами.

Для полівінілхлориду існують суміші речовин, які його розчиняють. Такі суміші називають клеєм, але прошарку клею у з'єднанні не залишається, так як він, розчинюючи матеріал на поверхні, випаровується ще до того, як матеріал знову полімеризується. Особливою рисою систем із полівінілхлориду є те, що їх можна зібрати “на суху”, без склеювання та робити уточнення лінійних розмірів ділянок трубопроводів. Це можливе завдяки тому, що зовнішній діаметр труби менше внутрішнього діаметра фітингу на малий допуск. При розрідженні матеріал збільшується в об'ємі та заповнює допуск, ущільнюючи його в процесі полімеризації, яка відбувається протягом 5—10 хвилин. Випробування системи тиском можна проводити лише після трьох-чотирьох годин.

Системи трубопроводів із поліпропілену неможливо попередньо зібрати, не виконавши з'єднання. Зовнішній діаметр труби більший внутрішнього діаметра фітингу, тому трубу не можна ввести в фітинг у холодному стані. Внаслідок цього монтаж системи відбувається поступово — від одного з'єднання до іншого. Розрідження матеріалу відбувається за рахунок розігрівання. Розігрівання виконується за допомогою відповідного нагрівального інструменту — паяльника з мінімальною температурою поверхні 260 °С. Робочі частини інструменту виконані із алюмінію та вкриті антипригарним покриттям. Елементи системи з розігрітими поверхнями механічно зістиковуються, при цьому залишок матеріалу витискується на зовнішній край фітингу. В процесі такого

стикування відбувається перемішування розріджених мас матеріалу, а протягом 15-ти хвилин — остаточна полімеризація.

Для з'єднання трубопроводів із полівінілхлориду та поліпропілену з обладнанням та запірно-регулюючою арматурою використовують однакові методи та засоби. По-перше, це фасонні елементи — перехідники на трубні різьби, різьбна частина яких виконана з матеріалу фітингу або з металу. За допомогою таких фітингів виконують нероз'ємні та умовно роз'ємні з'єднання. Повністю роз'ємні з'єднання виконують іншим типом фасонних елементів — так званими “американками” (“американка” — комплект із двох штуцерів та накидної гайки). Один чи обидва штуцери можуть бути зроблені або з матеріалу труби (PVC або PPR) для склеювання з нею, або з металу для з'єднання з арматурою.

Третій тип — фланцеве з'єднання — використовується здебільшого на великих діаметрах трубопроводів.

Група гнучких полімерів має декілька типів з'єднань, проте їх можна визначити як механічні затисного характеру. В усіх цих типах з'єднань використовуються такі фізичні властивості матеріалу, як помірне сповзання та пружність. Першим типом необхідно назвати цангові з'єднання тому, що цей тип застосовується до всіх гнучких полімерних труб. До з'єднання входять — штуцер, який має на поверхні поребріння; цангове або розрізне кільце; накидна гайка з одностороннім внутрішнім конусом. На трубу попередньо накидається гайка та кільце, потім штуцер вводиться в трубу, а накидна гайка накручується на різь. Як наслідок, кільце стискається під дією конуса, який посувається разом із гайкою за витками різьби. Стискаючись, кільце зменшує свій діаметр та затискає трубу на штуцері зусиллям, спрямованим на площину поперечного розтину. Завдяки властивості помірного сповзання та пружності матеріал труби фіксується на поребреному штуцері. Цей тип з'єднання має як роз'ємні, так і умовно роз'ємні виконання. Другий тип з'єднань — затисний у продольному (співосьовому) напрямку, який складається лише з двох елементів: штуцера та затисного кільця. Цей тип відрізняється від попереднього тим, що зусилля, спрямоване вздовж труби на кільце, насуває його на штуцер, попередньо введений в трубу. Таким чином матеріал труби затискається між кільцем та штуцером, фіксуючись на поребринах. З'єднання нероз'ємні. Третій тип з'єднань — стисний у поперечному напрямку. Складається також із двох елементів з штуцера та гільзи, що стискається. Перед стисканням всі елементи з'єднання займають свої місця — штуцер в трубі, гільза над штуцером на трубі. При виконанні з'єднання зусилля спрямовуються на

гільзу у поперечному напрямку на досить великій площині. Металева гільза непружна, вона фіксує стиснене положення, а труба під гільзою обіймає поребренний штуцер. З'єднання нероз'ємні. Через властиве матеріалу труби збереження стану напруженості всі механічні з'єднання мають такий термін експлуатації, який має труба.

Окремо необхідно згадати металополімерні труби та їх з'єднання. З'єднання мають ті самі типи, що й наведені вище. Але оскільки труба непружна через прошарок алюмінію, якість з'єднання забезпечується насамперед гумовими кільцями, що входять до їх складу.

Фасонні елементи для всіх типів з'єднань для всієї групи гнучких полімерів виконуються з металу. Тому з'єднання з арматурою та обладнанням не викликають питань через застосування трубної різьби. Останнім часом застосовується в якості матеріалу фасонних елементів полімер — полісульфон, але трубні різьби з нього не виконуються.

Для порівняння між собою металевих та полімерних труб в табл. 2 наведені технічні параметри, які ґрунтуються на вищезгаданих фізичних властивостях.

Таблиця 2

Технічні параметри труб

Тип матеріалу	Маса 1 м труби кг ( $d_y=1/2''$ )	Теплопровідність, Вт/м °К	Коеф. лінійного видовження, мм/м °К	Видовження 50 м труби при $dT=50\text{ }^{\circ}\text{C}$ мм	Діапазон діаметрів		Внутрішня жорсткість, мм
					min	max	
сталь	0,637	58	0,110	27,5	15	150	0,200
мідь	0,391	335	0,017	42,25	6	150	0,100
PVC-C	0,110	0,14	0,070	175	16	110	0,007
PP	0,102	0,24	0,180	450	16	40	0,007
PE(X)	0,100	0,43	0,200	500	12	110	0,005
Pex/Al/Pex	0,130	0,45	0,025	62,5	14	75	0,005
PB	0,102	0,22	0,130	325	14	25	0,005

Наведені параметри стосуються тих видів полімерів, які придатні до використання в системах опалення як найбільш вимогливих до застосованих матеріалів.

Отже, використання традиційних матеріалів обмежується відкритим прокладанням, потребує теплоізоляції та застережних заходів для збільшення терміну експлуатації. Традиційні матеріали можуть використовуватись як магістральні трубопроводи і як підводки до приладів та обладнання.

Щодо полімерних труб, то існують суттєві розбіжності щодо сфери їх застосування і збереження оптимальних показників використання.

Так, для PVC-C (PVC), завдяки широкому діапазону діаметрів, не існує суттєвих обмежень через перепускню здатність, хіба що в мережі центрального теплопостачання. Питання температурних видовжень вирішується за рахунок п-подібних та сальникових компенсаторів. До труб PVC-C можуть бути застосовані лише відкриті методи прокладання через жорсткість та високе значення модуля Юнга, з облаштуванням рухомих та нерухомих опор. При цьому одночасно необхідно забезпечити захист від дії ультрафіолетового випромінювання. Температурні обмеження — від 0 °C до 95 °C при тиску до 0,6—1,0 МПа в залежності від температури. Найефективніше використання труб із PVC-C (PVC) — це магістральні, підвальні, горищні та стоякові розводки систем холодного та гарячого водопостачання, тепло- та холодопостачання.

Для поліпропілену PP максимальний діаметр трубопроводів систем опалення обмежений, окрім цього PP має більшу товщину стінки труби, ніж PVC-C при одному зовнішньому діаметрі та серії труби (марки по номінальному тиску), тобто менший умовний прохід. Температурні видовження компенсуються п-подібними та  $\Omega$ -подібними компенсаторами. Менші температурні видовження мають труби армовані перфорованою алюмінієвою фольгою. Застосовуються відкриті методи прокладання з обов'язковим облаштуванням рухомих та нерухомих опор та забезпеченням захисту від впливу ультрафіолетового випромінювання. Температурні обмеження — від 0 °C до 70 °C, при тиску до 0,6—1,0 МПа в залежності від температури. Використання при більших температурах значно скорочує термін експлуатації таких трубопроводів. Оптимальним використанням для труб із PP є трубопроводи холодного та гарячого водопостачання. Застосування їх у низькотемпературних системах опалення є неефективним через велику матеріалоемність.

Для групи жорстких трубопроводів неефективним є їх використання в схованих прокладках, по-перше, через необхідність великої товщини ізоляції для утворення буферу компенсації видовжень, по-друге, через великий зовнішній діаметр фітінгів, що потребує значної глибини каналів або товщини наливної підлоги.

При розгляданні групи гнучких полімерних труб потрібно виділити загальні технічні показники, та відокремити їх застосування за типом з'єднань.

Для гнучких труб оптимальний діапазон діаметрів охоплює розміри від 12 до 32 мм. Використання більших діаметрів призводить до втрати

трубами гнучкості та фактично прирівнює до жорстких і вартість значних по масі з'єднань з кольорових металів стає значно більшою. За перепускною здатністю такі діаметри трубопроводів відповідають потребам у теплі та питній воді як окремих приватних будинків, так і великих квартир у багатоповерхових будинках. Тому гнучкі труби мають значну перевагу при використанні на таких об'єктах завдяки прихованому прокладанню. Компенсація температурних видовжень відбувається за рахунок саморозміщення труб в захисних каналах, в яких вони прокладаються. Ці канали також виконують функцію теплоізоляції. Температура транспортованої рідини може сягати 95 °C при тиску до 6—10 атм в залежності від температури середовища та серії труби (марки по номінальному тиску). Стосовно типів з'єднань слід зазначити, що роз'ємні та умовно роз'ємні з'єднання призначені для стиковки труб із тими елементами системи, що потребують демонтажу та обслуговування. Тому їх не слід прокладати приховано в будівельних конструкціях. Для прихованого прокладання пристосовані нероз'ємні з'єднання (тип другий та третій). Окремо необхідно відзначити з'єднання для металополімерних труб, які можна прокладати приховано під штукатуркою в ізоляції, в зв'язку з тим що у конструкції з'єднувача використані гумові ущільнювачі, які з часом потребують ревізії та заміни. Можна зробити висновок, що гнучкі труби найбільше пристосовані для прихованого прокладання в будівельних конструкціях у поквартирних системах опалення, холодного та гарячого водопостачання, або в приватних будинках.

Детально розглянувши оптимізацію використання полімерних труб, можемо зробити висновок, що одним типом труб виконати всі інсталяції внутрішні системи інсталяції неможливо.

Так, розгалужену систему опалення, можна виконати одним із типів труб, але при цьому обов'язково виникнуть питання щодо вирішення проблемних вузлів у системі. Як ми вже переконались, вони властиві всім типам полімерних труб у певних аспектах.

Саме в системах полімерних труб, завдяки **системному інтегруванню**, можна використати найкращі якості окремих видів полімерів і таким чином оптимізувати їх застосування. Для прикладу розглянемо систему полімерних труб, призначену для облаштування внутрішніх систем центрального і підлогового опалення, холодного та гарячого водопостачання **KAN-therm** виробництва фірми KAN. До її складу входять три типи полімерних трубопроводів — полівінілхлорид PVC-C (PVC), поліетилен LPE-MD DOWLEX 2344E, та металополімерна труба PEX/Al/PEX. Їх використання рекомендовано обмежувати таким чином:

- PVC-C (PVC) — магістральні, підвальні, горищні розводки та стояки, відкрите прокладання трубопроводів із застосуванням компенсаційних муфт.
- LPE-MD — приховані розводки поквартирних систем холодного та гарячого водопостачання, підлогове опалення, у вигляді сіткового полістилену PEX-с системи центрального опалення при прокладанні під лиштвами, від розподільвача або у петлі (труби сховані в будівельних конструкціях).
- PEX/Al/PEX — відкриті прокладки усіх видів систем, також під лиштвами або приховані від розподільвача.

Для гнучких труб, LPE (PEX-с) та PEX/Al/PEX, до системи залучені всі три типи з'єднань у різних виконаннях. Це цангові з'єднання у різьбному, О-рінговому та конусному виконанні, з'єднання для підключення до радіаторної арматури, з'єднання типу VISTOL для метало-полімерних труб, конусне з'єднання із суцільною гільзою та накидною гайкою, та обидва типи затисних з'єднань для одношарових та метало-полімерних труб. У системі також представлена велика кількість фасонних елементів, що сприяють швидкому та естетичному виконанню монтажу опалювальних та сантехнічних приладів. Фірма KAN дає 10-річну гарантію на безаварійну роботу системи **KAN-therm** при дотриманні умов монтажу та експлуатації.

Необхідно відзначити, що фірма KAN не зупиняється на досягнутому, вона динамічно розвивається. Система **KAN-therm** постійно розширюється та поновлюється, у каталог продукції фірми щопівроку вносяться нові елементи, які розширюють можливості системи. На ринку України продукцію фірми KAN супроводжують консультації фахівців та навчання спеціалістів з монтажу та проектування в системі **KAN-therm**.

Реалізуючи ідею системного інтегрування своєї продукції, фірма KAN задовольняє будь-який попит на санітарно-технічне обладнання.

## Використана література

1. *Адамчевський Альфред*, Новинки в технології KAN-therm, Ринок Інсталяційний. — № 7, 8. — 1999.
2. *Ришард Ян Бернацкі*, KAN-therm — польська система монтажу з полімерних матеріалів, Ринок Інсталяційний. — № 3. — 2000.

3. *Бальберт С. І.*, Стамар Україна, Ринок Інсталяційний № 1. — 2000.

4. *Щербина О. М.*, Енергія для всіх, Технічний довідник, видавництво В. Падяка. — 2000. — 192 с.

5. *Кишишов Синьковскій*, Справочник проектировщика системы KAN-therm, Варшава. — 1999.

6. *Гаржина Бартольд-Вишневська*, Медь в санитарно-технических установках, Варшава. Видавництво учбової та педагогічної літератури. — 1997.