

## ОЦІНЮВАННЯ МІЦНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ ПОЛІМЕРНИХ ТРУБНИХ КОНСТРУКЦІЙ

М.Г. СТАЩУК, Я.Л. ІВАНИЦЬКИЙ, М.І. ДОРОШ

ФМІ ім. Г.В. Карпенка НАНУ, 79060, м. Львів-60, вул. Наукова, 5. E-mail: pmainasu@ipm.lviv.ua

Систематизовано результати українських та зарубіжних дослідників у галузі науки про методи оцінювання міцності та довговічності полімерних трубних конструкцій. Наведено методи визначення напружено-деформованого стану великогабаритних полімерних трубних конструкцій з порожнистою стінкою для оцінювання їх міцності та ресурсу за реальних умов експлуатації. Сформульовані рекомендації для інженерної практики, що стосуються методів і засобів оцінювання роботоздатності полімерних трубних конструкцій. Бібліогр.18, рис. 12.

*Ключові слова:* напружено-деформований стан, стільникова циліндрична конструкція, полімери, мінімальна довготривала міцність, кільцева жорсткість, тріциноподібний дефект-непровар

Важливе місце серед технічних матеріалів, які широко використовують у інженерній практиці, належить полімерним матеріалам. Розрахунок міцності, надійності та довговічності елементів конструкцій з таких матеріалів становить одну з актуальних проблем сучасної науки про матеріали, зокрема в галузі оцінювання довговічності трубопровідних систем у різних експлуатаційних середовищах.

Застосування полімерних труб для інженерних мереж розпочалось з середини 1950-х років. Упродовж цього періоду нагромаджувались дані про їх експлуатаційну надійність. Продовжується постійне оновлення полімерних матеріалів та самих виробів з них. Так, широкого впровадження у виробництві набувають полімерні трубопроводи з порожнистими стінками, що забезпечує значну економію матеріалу. У зв'язку з цим дуже важливим стає розроблення методів оцінювання міцності та довговічності таких конструкцій. В європейських країнах для розв'язання цієї проблеми вводяться єдині стандарти, розроблені в рамках CEN (European Committee for Standardization). Вирішення цієї проблеми потребує синтезу наявних результатів, відомих у світовій практиці.

Дана робота присвячена синтезу результатів розробок українських та зарубіжних вчених у цій галузі науки про матеріали. Сформульовані реко-

ментації для інженерної практики з питань, що стосуються методів і засобів оцінювання роботоздатності полімерних трубних конструкцій із порожнистою стінкою, зокрема:

- методів визначення напружено-деформованого стану (НДС) великогабаритних полімерних трубних конструкцій з порожнистою стінкою;
- оцінювання міцності та ресурсу стільникових трубних конструкцій з урахуванням реальних умов експлуатації;
- рекомендацій щодо прогнозування терміну надійної експлуатації полімерних тонкостінних виробів з порожнистою будовою стінки.

У роботі [1] наведено огляд праць з питань розрахунку напружено-деформованого та граничного станів стільникових трубних конструкцій. Проаналізовано праці, присвячені суцільним полімерним (гнучким) трубам, що експлуатуються в умовах дії ґрунтів. Виокремлено найважливіші чинники та критерії міцності для інженерних розрахунків при проектуванні стільникових труб.

Полімерні трубні конструкції великого діаметра із суцільним профілем стінки не забезпечують повною мірою оптимальної масоємкості. Тому при забезпеченні відповідної міцності та довговічності актуально використовувати легші конструкції із порожнистими стінками (рис. 1).

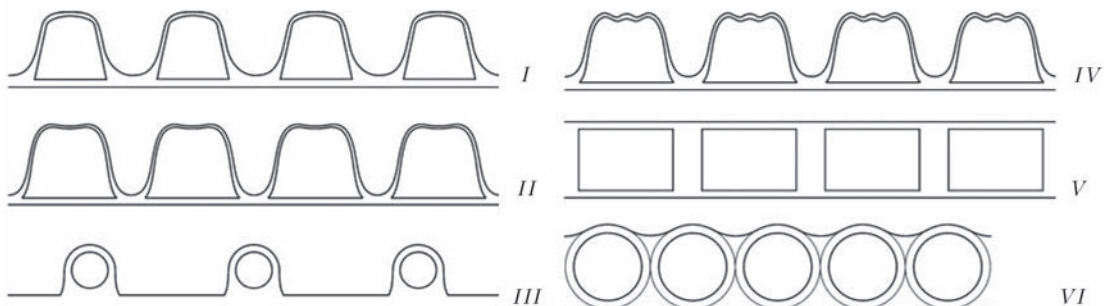


Рис. 1. Схематичне зображення різних типів (I–VI) профілів структурованої стінки у трубній конструкції

Одним із варіантів таких конструкцій є полімерні тонкостінні вироби з трубчастим профілем стінки (рис. 1, тип VI). Їх називають стільниковими [2, 3]. Стільникові конструкції виробляють компанії «Енергоресурс-Інвест» (Львів), «Євротрубпласт» (Росія), «KWH Pipe» (Фінляндія) та інші підприємства. Технологія виробництва стільникових трубних елементів – це неперервне намотування на спеціальних пристроях-барабанах поліетиленових трубок з одночасним екструзійним їх зварюванням між витками. Матеріалом, що використовується для виготовлення, є поліетилен HDPE марки ПЕ-80 та 100 [2, 3]. Труби стільникового типу зображені на рис. 2 і 3.

Традиційно виділяють низку необхідних чинників для розрахунку та проектування полімерних тонкостінних конструкцій, в тому числі й для стільникових. Особливо важливо під час розрахунку таких конструкцій врахувати наступні фактори: конструкційні особливості (геометрію конструкції та особливості будови її стінки (одношарові (рис. 4), двошарові та тришарові); фізико-механічні властивості поліетилену; вплив ґрунту (активний та реактивний тиски ґрунту); технологічні дефекти-непровари (рис. 5), що неминуче виникають під час формування порожнистих стінок труб.

Врахування цих факторів дало змогу розробити рекомендації для розрахунків, які забезпечують

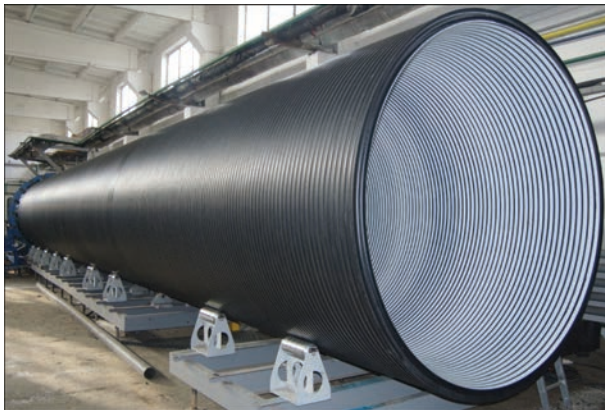


Рис. 2. Стільникова одношарова труба



Рис. 3. Поліетиленовий резервуар зі стільниковою будовою стінки

довготривалу та надійну експлуатацію стільникових конструкцій.

Полімерні конструкції з порожнистими стінками мають вигляд, зображений на рис. 1. Описано основні технології виготовлення таких конструкцій. Обґрунтовано економічну та технологічну доцільність використання полімерних трубних конструкцій з порожнистими стінками у порівнянні із суцільними.

Труби, в тому числі і стільникові, призначені для водовідведення та мереж каналізації, класифікують за кільцевою жорсткістю  $S_n$  [4], яка характеризує здатність трубопроводу протистояти тиску ґрунту та іншим зовнішнім механічним чинникам. Цей параметр є базовим класифікатором підземних каналізаційних труб, затвердженим стандартами [4–6]. Теоретично його визначають згідно формули

$$S_n = EI/D^3, \quad (1)$$

де  $E$  – модуль пружності матеріалу труби;  $D$  – середній діаметр труби;  $I$  – момент інерції профілю стінки труби на одиницю її довжини.

Для практики нормовані кільцеві жорсткості  $S_n$  приймають значення: 2; 4; 8; 16 кПа. Однією з головних вимог до трубопроводів великого діаметра, що працюють під впливом зовнішніх навантажень, є забезпечення достатньої кільцевої жорсткості конструкції. Використання стільникових труб (з порожнистими стінками) спричинене тим, що для достатньої кільцевої жорсткості потрібно використати в 2,0...2,5 рази менше матеріалу порівняно з трубою із суцільною стінкою (у вартості полімерної труби левову частку займає сировина).

В американському штаті Техас функціонує спеціалізований інститут з вивчення властивостей полімерних труб (Plastics Pipe Institute). У 2010 р. інститут провів масштабне дослідження, яке довело можливість безпечної роботи труб з поліетилену в побутовому і промисловому водопостачанні протягом більш ніж 100 років. Дослідження включало досліди із впливу на поліетиленові тру-

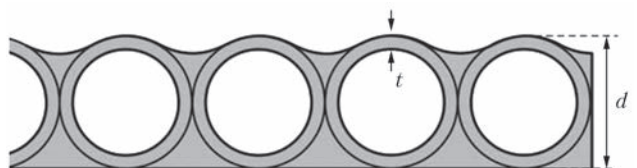


Рис. 4. Схема стінки стільникової конструкції

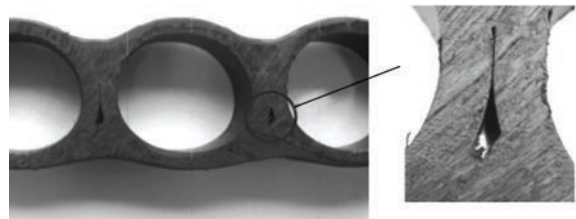


Рис. 5. Приклад реального дефекту-непровару типу тріщини у стінці стільника

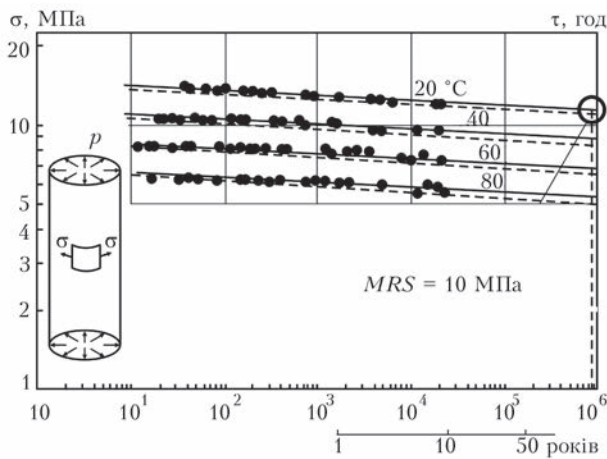


Рис. 6. Результати випробувань поліетилену марки ПЕ-100 згідно Міжнародного стандарту ISO 9080 (Фірма «Bodyscote», Німеччина)

би різноманітних середовищ, агресивних ґрунтів, дезінфікуючих засобів і різних режимів обслуговування. Проведені випробування за цих досліджень довели, що прийнятий за норму середній термін служби поліетиленових труб в системах водопостачання, що становить 50 років, значно занижений. Труби з поліетилену низького тиску можна експлуатувати протягом ста і більше років без втрати їх початкової міцності, герметичності і стійкості.

В загальному можна зробити наступну класифікацію призначень полімерних труб та трубопроводів: полімерні труби для зовнішнього водопроводу; полімерні трубопроводи в системах гарячого водопостачання і опалення; обсадні труби для свердловин; застосування полімерних труб при будівництві газопроводів; полімерні труби для каналізації; полімерні труби для кабельних ліній; полімерні труби для очисних систем і т.п.

Експлуатаційні характеристики різних полімерів значно відрізняються між собою. Найбільшою мірою ці відмінності проявляються в хімічній і температурній стійкості, а також в характеристиках міцності. Чим вище температура середовища та інтенсивність зовнішнього навантаження, тим менший термін служби полімерних трубопроводів. Залежності «температура–напруження–час» визначаються для термопластів у відповідності з Міжнародним стандартом ISO 9080:2003. В даний час класифікація трубних марок полімерів здійснюється відповідно до MRS – мінімальної тривалої міцності (Minimum Required Strength). Класифікація поліетилену за показником MRS прийнята Міжнародними стандартами ISO 12162 і ISO 9080. Згідно цих стандартів показник MRS визначається в залежності від стійкості трубних зразків, виготовлених з розглянутого матеріалу, до внутрішнього тиску й часу його впливу при заданій температурі. У випробуваннях на визначення MRS зразки труб навантажують внутрішнім тиском, внаслідок чого в стінці труби вини-

кають кільцеві напруження  $\sigma$ , які спричиняють руйнування. Випробування проводяться як мінімум при трьох температурах (20, 60 і 80 °C), а їх тривалість досягає 9000 год. Залежність (рис. 6) кільцевого напруження  $\sigma$  від часу до руйнування і температури випробування, знайдена при обробці отриманих даних, дає можливість оцінити властивості міцності полімеру і екстраполювати їх на заданий період часу. Для визначення значення MRS екстраполюють отримані показники кільцевих напружень  $\sigma$  (рис. 6), які поліетиленова труба може витримати протягом 50 років за температури навколишнього середовища 20 °C. Мінімальний термін служби полімерних труб 50 років прийнятий як в міжнародних, так і у вітчизняних нормативних документах (ГОСТ Р 50838–95, ПБ 12-529-03 та ін.).

Представлені графіки (рис. 6) уможливають визначення величини допустимого напруження для більш короткого терміну служби і для підвищених температур.

На основі літературних даних для лінійних деформацій при навантаженнях, статичної міцності полімерів, відповідних фізико-хімічних процесів при механічних навантаженнях в залежності від впливу часового та температурного факторів проведено [7, 8] відповідні дослідження міцності полімерних матеріалів та виробів з них. Хоча руйнування полімерів є складне та багатостадійне, однак для оцінки міцності полімерних виробів в інженерній практиці використовують два найбільш поширених розрахункових критерії [9]: забезпечення допустимих напружень ( $\sigma \leq \sigma_c$ ) та допустимих деформацій ( $\epsilon \leq \epsilon_c$ ). Тут, відповідно,  $\sigma_c$ ,  $\epsilon_c$  – допустимі напруження та деформації для полімерного матеріалу. Частіше поліетиленові труби розраховують за першим критерієм. На основі цього були розроблені Міжнародні стандарти ISO 12162:1995 та ISO 9080:2003. Згідно з ними допустимий тиск у поліетиленовій трубі встановлюється з умови

$$\max \sigma \leq MRS, \tag{2}$$

де  $\sigma$  – кільцеві напруження у стінці порожнистої труби; MRS – мінімальна довготривала міцність.

Найбільш вживаними є поліетилену марки ПЕ-80 та ПЕ-100. Відповідно до висновків роботи [10], вони мають MRS = 8 та 10 МПа. Аналогічно умові (2), критичні навантаження на стільникові трубні конструкції за складного напруженого стану оцінюємо за критерієм [1]:

$$\max \{ \sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{33} \} \leq MRS, \tag{3}$$

де  $\sigma_{11}$ ,  $\sigma_{22}$ ,  $\sigma_{33}$  – головні напруження у поліетиленовому виробі.

Для проектування полімерних труб з порожнистою будовою стінки за критерієм (3) необхідно попередньо оцінювати їх НДС.

Шляхом моделювання порожнистого тонкостінного елемента [11–13] конструкційно ортотропною оболонкою запропоновано методику оцінювання НДС стільникової трубної конструкції і модифіковано відповідну систему рівнянь оболонкового типу для знаходження зусиль і згинальних моментів.

Оскільки відношення товщини стінки  $d$  (рис. 4) до діаметра  $D$  (рис. 7) такої трубної конструкції становить  $d/D < 1/10$ , то для оцінки НДС застосували теорію оболонок [14]. Стільникову трубну конструкцію моделюємо циліндричною оболонкою (рис. 7). Оболонку вважаємо конструкційно ортотропною [14], що означає, що анізотропні властивості проявляються через стільникову будову полімерного виробу [12, 13].

В даному випадку рівняння рівноваги для цієї оболонки аналогічні рівнянням теорії оболонок з суцільними стінками, тобто

$$\begin{aligned} R \frac{\partial T_{11}}{\partial x} + \frac{\partial S_{12}}{\partial \varphi} &= -Rq_1, & R \frac{\partial S_{21}}{\partial x} + \frac{\partial T_{22}}{\partial \varphi} - N_2 &= -Rq_2, \\ R \frac{\partial N_1}{\partial x} + \frac{\partial N_2}{\partial \varphi} + T_{22} &= -Rq_3, & & \\ R \frac{\partial H_{21}}{\partial x} - \frac{\partial G_{22}}{\partial \varphi} + RN_2 &= 0, & & \end{aligned} \quad (4)$$

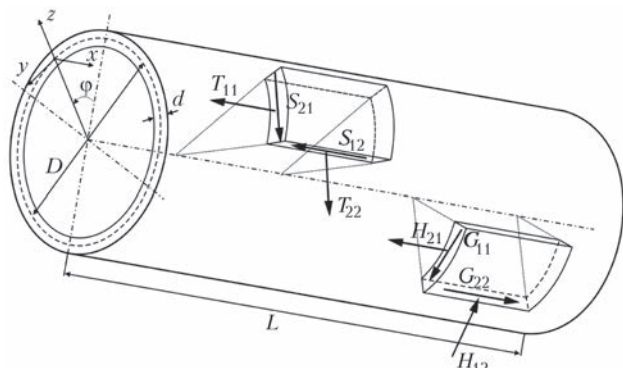


Рис. 7. Внутрішні зусилля й моменти в циліндричній оболонці товщиною  $d$

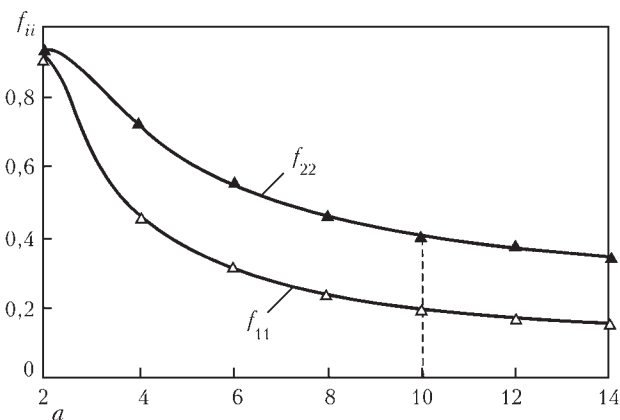


Рис. 8. Зміна параметрів  $f_{ij}(s)$ ,  $p_{ij}(s)$  від величини  $s = d/t$  (розраховували для точок, позначених трикутниками або квадратиками):  $a - f_{12} = f_{21} = \nu f_{11}$ ;  $b - p_{12} = p_{21} = \nu p_{11}$

$$R \frac{\partial G_{11}}{\partial x} - \frac{\partial H_{12}}{\partial \varphi} - RN_1 = 0,$$

де  $q_i$  – компоненти зовнішнього навантаження;  $T_{ij}$ ,  $S_{ij}$  та  $G_{ij}$ ,  $H_{ij}$  ( $i \neq j = 1, 2$ ) – внутрішні зусилля й моменти, додатні напрямки яких зображено на рис. 5;  $R$  – радіус середньої поверхні оболонки.

Компоненти деформацій середньої поверхні  $\epsilon_{ij}$ ,  $\omega$ ,  $\chi_{ij}$ ,  $\tau$  виражаються через компоненти переміщень  $u$ ,  $v$ ,  $w$  так:

$$\begin{aligned} \epsilon_{11} &= \partial u / \partial x, & \epsilon_{22} &= (\partial v / \partial \varphi - w) / R, & \omega &= \partial v / \partial x + R^{-1} \partial u / \partial \varphi, \\ \chi_{11} &= \partial^2 w / \partial x^2, & \chi_{22} &= (\partial^2 w / \partial \varphi^2 + \partial v / \partial \varphi) / R^2, & & \\ \tau &= (\partial^2 w / \partial \varphi \partial x + \partial v / \partial x) / R. & & & & \end{aligned} \quad (5)$$

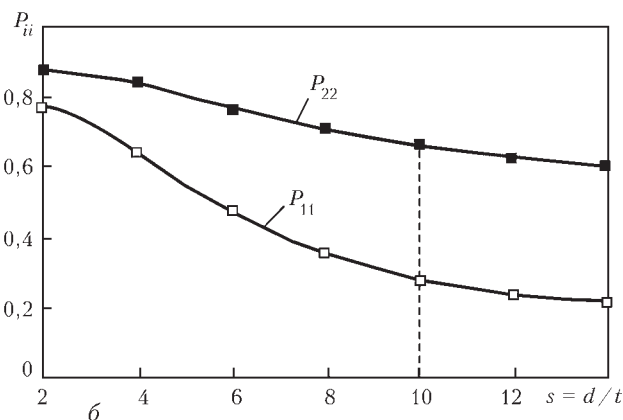
Стільникову структуру враховуємо шляхом відповідного запису рівнянь стану, які зв'язують зусилля  $T_{ij}$ ,  $S_{ij}$  й моменти  $G_{ij}$ ,  $H_{ij}$  з компонентами деформацій  $\epsilon_{ij}$ ,  $\omega$ ,  $\chi_{ij}$ ,  $\tau$ . Рівняння стану записуємо за їх структурним аналогом до рівнянь теорії оболонок із суцільною стінкою [14]:

$$\begin{aligned} T_{11}(x, \varphi) &= B_{11}^* \epsilon_{11}(x, \varphi) + B_{12}^* \epsilon_{22}(x, \varphi), \\ G_{11}(x, \varphi) &= -D_{11}^* \chi_{11}(x, \varphi) - D_{12}^* \chi_{22}(x, \varphi), & (1 \rightarrow 2) \\ S_{12}(x, \varphi) &= B_{33}^* \omega(x, \varphi), & (6) \\ S_{21} &= B_{33}^* \omega(x, \varphi) + D_{33}^* \tau(x, \varphi) / R, \\ H_{12}(x, \varphi) &= H_{21} = D_{33}^* \tau(x, \varphi), \end{aligned}$$

де коефіцієнти  $B_{ij}^*$ ,  $D_{ij}^*$ ,  $B_{33}^*$ ,  $D_{33}^*$  ( $i, j = 1, 2$ ) – ефективні жорсткості для конструкційно ортотропної оболонки, якою моделюємо стільникову трубну конструкцію.

Коефіцієнти  $B_{ij}^*$  та  $D_{ij}^*$  залежать від будови стінки стільника, тобто від діаметра поліетиленової трубки  $d$  та її товщини  $t$  (рис. 4), а також – від механічних характеристик поліетилену (модуля пружності  $E$  та коефіцієнта Пуассона  $\nu$ ). Записуємо їх у вигляді:

$$\begin{aligned} B_{ij}^* &= f_{ij} \frac{Ed}{1 - \nu^2}, & D_{ij}^* &= p_{ij} \frac{Ed^3}{12(1 - \nu^2)}, & (7) \\ B_{33}^* &= f_{33} \frac{Ed}{2(1 + \nu)}, & D_{33}^* &= p_{33} \frac{Ed^3}{12(1 + \nu)}. \end{aligned}$$



Тут  $f_{ij}, p_{ij}$  – параметри, що враховують стільникову структуру, їх значення характеризують зменшення відповідних жорсткостей порівняно з такими ж для оболонки зі суцільною стінкою товщини  $d$ . Жорсткості  $B_{ij}^*, D_{ij}^*$  та відповідні їм параметри  $f_{ij}, p_{ij}$  визначають [12, 13] з числового експерименту з використанням методу скінченних елементів. Зміни параметрів  $f_{ij}, p_{ij}$  від величини  $s$  графічно зображено на рис. 8. Як бачимо з формули (7) та графіків на рис. 8, жорсткості  $B_{11}^*, D_{11}^*$  циліндричної оболонки стільникового типу в осьовому напрямку є меншими порівняно з такими ж ( $B_{22}^*, D_{22}^*$ ) за кільцевим напрямком.

Зауважимо, жорсткості стільникової трубної конструкції для найбільш поширеної величини  $s = d/t = 10$  набувають значень [13, 16]

$$B_{11}^* = \frac{0,18Ed}{1-\nu^2}, B_{22}^* = \frac{0,432Ed}{1-\nu^2}, D_{11}^* = \frac{0,251Ed^3}{12(1-\nu^2)},$$

$$D_{22}^* = \frac{0,672Ed^3}{12(1-\nu^2)}, \quad (8)$$

Порівняння між собою останніх співвідношень показує, що жорсткості у відповідних напрямках різняться більше, ніж у два рази. Отже, міцність стільникової труби в осьовому напрямку є меншою порівняно з міцністю за кільцевим напрямком.

Встановивши з рівнянь (4)–(8) зусилля  $T_{ij}$ ,  $S_{ij}$  й моменти  $G_{ij}$ ,  $H_{ij}$ , розраховуємо напруження  $\sigma_{ij}$  у стінці стільника [13, 16].

Метод оцінювання НДС стільникових трубних конструкцій підтверджено експериментально. На рис. 9–11 наведено результати експериментів та теоретичних розрахунків, виконаних на основі запропонованого методу, з яких видно, що:

– жорсткості на розтяг стільникового зразка, встановлені теоретично та експериментально, корелюють між собою;

– напруження, отримані на основі експериментальних досліджень з використанням цифрової кореляції зображень та із запропонованих співвідношень, кількісно збігаються [17];

– розраховані теоретичні значення зміни висоти стільникового резервуара, навантаженого паралельними зусиллями до його твірної, добре співпадають з експериментальними замірами [13]; встановлені експериментально та розраховані критичні зусилля мають відхилення до 7 %;

– розраховане значення критичного внутрішнього тиску за статичного навантаження стільникової труби (діаметр труби  $D = 768$  мм та товщина її стінки  $d = 32$  мм) становило  $5,3 \cdot 10^5$  Па, тоді як визначене з експерименту  $5,6 \cdot 10^5$  Па.

Суттєвим стало оцінювання впливу тиску ґрунту на НДС стільникових труб для двох схем їх

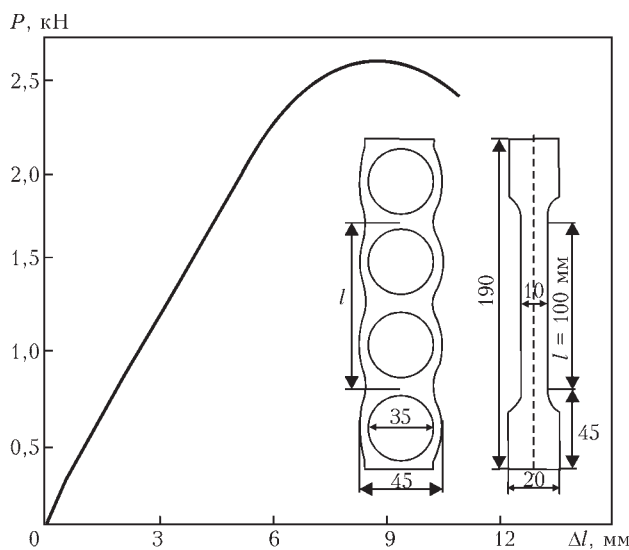


Рис. 9. Діаграма «зусилля навантаження  $P$ –видовження  $\Delta l$ » стільникового зразка

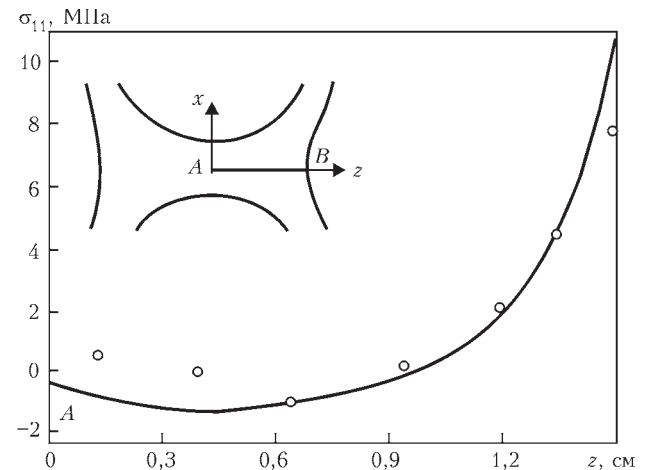


Рис. 10. Напруження  $\sigma_{11}$ , отримані з експериментальних даних на основі цифрової кореляції зображень (кружечки), та теоретичних розрахунків (крива) ( $E = 600$  МПа,  $\nu = 0,42$ )

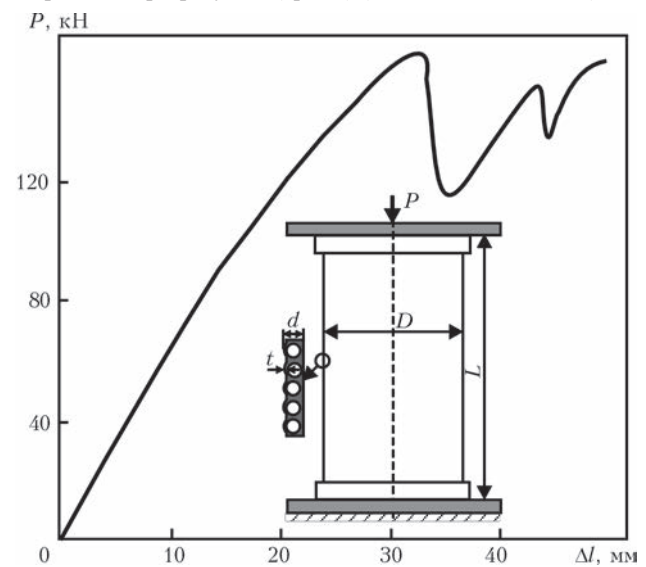


Рис. 11. Діаграма «навантаження–стискання» стільникового резервуара ( $D = 618$  мм,  $L = 1600$  мм,  $d = 32$  мм)

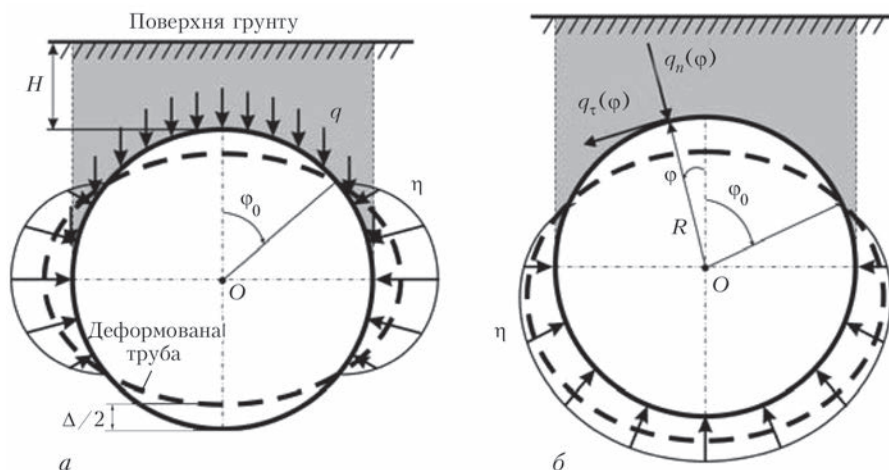


Рис. 12. Схема навантаження стільникової конструкції (поперечний переріз):  $q_n(\varphi)$  та  $q_\tau(\varphi)$  – нормальні та дотичні навантаження, спричинені вагою ґрунту  $q$ , розміщеного над трубою

укладання (з жорсткою (а) та м'якою (б) основою (рис. 12).

Запропонована методика оцінки НДС стільників дала можливість розробити рекомендації [15, 16] прогнозування довготривалості та надійної експлуатації основних типів стільникових конструкцій, а саме:

1. Для довгої стільникової труби, укладеної у ґрунт, початкові відносні прогини повинні задовольняти нерівності

$$\text{ПЕ-80 (MRS=8 МПа): } \frac{\Delta}{D} 100 \% \leq 4 \%,$$

$$\text{ПЕ-100: (MRS=10 МПа) – } \frac{\Delta}{D} 100 \% \leq 5\%, \quad (8)$$

де величину відносного прогину ( $\Delta/D$ ) розраховували згідно з будівельним стандартом [5] за формулою  $\Delta/D = 0,11H\gamma / (8S_n + 0,06E_s)$ .

2. Для безнапірного стільникового резервуара, вертикально укладеного у ґрунт, необхідно забезпечити умову

$$\max \left\{ \left| \frac{H\gamma D}{d} \left( -3,85 + \frac{D}{d} \right) \right|, \left| -\frac{H\gamma D}{d} \left( 3 + 0,32 \frac{D}{d} \right) \right| \right\} \leq MRS, \quad (9)$$

а внутрішній тиск  $p$  за довготривалої експлуатації такої стільникової труби має задовольняти умові

$$p \leq \frac{2d \left[ 0,933 - \pi \left( 1/2 - t/d \right)^2 \right] \times MRS}{D}. \quad (10)$$

### Висновки

На основі розрахунків НДС досліджено міцність стільникових трубних конструкцій з наявними тріщиноподібними дефектами. Для цього здійснено оцінювання міцності стільникового елемента з технологічними тріщиноподібними несправками, що виникають між поліетиленови-

ми трубками під час виготовлення стільникових стінок [18]. Встановлено критичну довжину таких непроварів.

Результати такого плану мають безпосереднє практичне спрямування і можуть бути використані науковими працівниками та інженерами, які працюють у галузі проектування, технічної діагностики та експлуатації відповідальних полімерних трубних конструкцій.

1. Стацук М.Г., Дорош М.І. Методи розрахунку міцності поліетиленових труб із стільниковою стінкою (огляд) // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2013. – № 5. – С. 51–62.
2. Великогабаритні полімерні конструкції з порожнистою (стільниковою) будовою стінки // Вода і водоочисні технології. – 2008. – № 5. – С. 65–66.
3. Корпорация «Энергоресурс-инвест» представляет новую технологию производства крупногабаритных полимерных изделий с пустотелой (сотовой) конструкцией стенки // Полимерные трубы. – 2007. – № 2–3. – С. 6–7.
4. ГОСТ Р 54475–2011. Трубы полимерные со структурированной стенкой и фасонные части к ним для систем наружной канализации. Технические условия. – Введ. 13.12.2011.
5. ДСТУ-Н Б В.2.5-40:2009. Проектування та монтаж мереж водопостачання та каналізації з пластикових труб. – Введ. 21.12.2009.
6. ISO 9969:2007. Thermoplastics pipes. Determination of ring stiffness. – Introduced 31.01.2008.
7. Кауш Г. Разрушение полимеров / Пер. с англ. – М.: Мир, 1981. – 440 с.
8. Нарисава И. Прочность полимерных материалов. – М.: Химия, 1982. – 400 с.
9. Janson L.E. Plastic pipes for water supply and sewage disposal. – Stockholm: Borealis, 1996. – 156 p.
10. Характеристики сырья ПЭ-100 ПЭ-80 (PE-100 PE-80) // <http://www.etp.com.ua/?page=24>
11. Стацук М.Г., Дорош М.І. Встановлення деформованого стану тонкостінних конструкцій зі стільниковою структурою // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2009. – № 4. – С. 67–75.
12. Стацук М.Г., Дорош М.І. Розрахунок великогабаритних поліетиленових труб з порожнистою стінкою // Там само. – 2012. – № 4. – С. 39–45.
13. Стацук М.Г., Дорош М.І. Оцінка напруженого стану полімерних трубних конструкцій з порожнистою (стільниковою) будовою стінки // Математичні методи та фізико-механічні поля. – 2012. – № 4. – С. 143–151.

14. Статика и динамика тонкостенных оболочечных конструкций / А.В. Кармишин, В.А. Лясковец, В.И. Мяченков, А.Н. Фролов. – М.: Машиностроение, 1975. – 376 с.
15. Стацук М.Г., Дорош М.І. Розрахунок стільникових трубопроводів великого діаметра в неоднорідному ґрунтовому середовищі // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2010. – № 6. – С. 47–50.
16. Стацук М.Г., Дорош М.І. Розрахунок стільникових полімерних трубчастих елементів конструкцій для експлуатації в ґрунтах // Пробл. прочності. – 2013. – № 3. – С. 135–147.
17. Stashchuk M.H., Dorosh M.I., Sokil M.B. The analysis of service ability of polyethylene pipes and tanks with the hollow wall by strength criterion // Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. – 2013. – № 759. – С. 112–118.
18. Стацук М.Г. Оцінювання допустимих розмірів непроварів стільникових тонкостінних елементів // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2014. – 50, № 2. – С. 60–68.

Results obtained by Ukrainian and foreign researchers in the field of science of methods for evaluation of strength and fatigue life of polymer tubular structures were systematized. Methods are presented for determination of stress-strain state of large-sized polymer tubular structures with a hollow wall to evaluate their strength and life under real operation conditions. Recommendations for engineering practice were set forth, concerning the methods and means for evaluation of performance of polymer tubular structures. 18 References, 12 Figures.

*Keywords: stress-strain state, honeycomb cylindrical structure, polymers, minimum long-term strength, ring stiffness, cracklike defect – lack-of-penetration*

Надійшла до редакції  
13.01.2016

## ВОСЬМАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах»

Украина, Одесса, отель «Курортный» ([www.inkurort.com](http://www.inkurort.com))  
19 – 23 сентября 2016 г.



Национальная академия наук Украины  
Институт электросварки им. Е.О. Патона НАНУ  
Международная ассоциация «Сварка»

### Тематика конференции

#### Математическое моделирование:

- ♦ физических явлений, определяющих эффективность и распределение тепловложений при сварочном нагреве;
- ♦ процесса переноса металла при сварке;
- ♦ образования и гидродинамики сварочной ванны при сварке плавлением сплошных и пористых материалов;
- ♦ кристаллизации сварочной ванны, химического состава зоны проплавления и образования химической неоднородности;
- ♦ кинетики микроструктурных изменений при одно- и многопроходной сварке;
- ♦ зависимости химического состав — микроструктура — механические свойства;

- ♦ транспорта водорода в сварных соединениях;
- ♦ оценки риска образования холодных (водородных) трещин;
- ♦ остаточных напряжений и деформаций при многопроходной сварке с учетом изменений микроструктуры металла;
- ♦ деградации свойств материала сварных соединений под воздействием высоких температур, химически агрессивных сред и ядерного облучения;
- ♦ процесса идентификации дефектов в сварных соединениях при неразрушающих методах испытаний
- ♦ кинетики деформационных процессов в температурных интервалах образования горячих трещин.

#### Информационные технологии в сварке, наплавке и нанесении покрытий.

Рабочие языки конференции — украинский, русский, английский. Для участия в конференции необходимо заполнить регистрационную карточку и направить ее в Оргкомитет до 21 июня 2016 г. К началу конференции будут изданы тезисы докладов. Требования к оформлению тезисов. Текст следует набирать на одном из рабочих языков в редакторе WORD (кегль 12, через 1,5 интервала). Объем тезисов — 1 страница.

#### Основные даты

Подача заявок на участие и тезисов докладов до 21.06.2016 г. Рассылка второго информационного сообщения до 01.07.2016 г. Рассылка приглашений на конференцию и подтверждение участия до 15.07.2016 г. Оплата организационного взноса производится на основании счетов Оргкомитета или непосредственно во время проведения конференции.

#### Оргкомитет

Украина, 03680, г. Киев, ул. Боженко, 11  
Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины  
Тел./факс: (38044) 200-82-77  
E-mail: [journal@paton.kiev.ua](mailto:journal@paton.kiev.ua), [romanova@paton.kiev.ua](mailto:romanova@paton.kiev.ua)  
<http://pwi-scientists.com/rus/mmi2016> | [www.patonpublishinghouse.com](http://www.patonpublishinghouse.com)