

ОЦІНКА НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ПОЛІМЕРНИХ ТРУБНИХ КОНСТРУКЦІЙ З ПОРОЖНИСТОЮ (СТІЛЬНИКОВОЮ) БУДОВОЮ СТІНКИ

Запропоновано методикку оцінки напружено-деформованого стану циліндричних великогабаритних конструкцій з порожнистою (стільниковою) будовою стінки. Конструкції такого типу змодельовано циліндричними ортотропними оболонками, для яких теоретично встановлено циліндричні жорсткості та жорсткості на розтяг. Запропоновано співвідношення для оцінки напруженого стану порожнистої стінки стільникових конструкцій. Досліджено напружено-деформований стан стільникових резервуарів, вертикально укладених у ґрунт, та зроблено рекомендації для їх проектування.

Вступ. На теперішній час найбільш розповсюдженим матеріалом для виробництва промислових трубопроводів низького тиску є полімери [8, 17], особливо поліетилен. Трубопроводи, виготовлені з таких матеріалів, мають ряд переваг порівняно з металевими [1]. Випробування показали, що очікуваний термін служби труб із поліетилену складає 50–100 років. Для зменшення маси трубопроводів великого діаметра їх стінки формують у вигляді стільникової структури [3, 7, 8, 16]. Технологія виробництва тонкостінних конструкційних елементів з порожнистою (стільниковою) будовою стінки передбачає неперервний процес намотування на спеціальних пристроях-барабанах нескінченно довгих поліетиленових трубок діаметра $20 \div 110$ мм з їх одночасним екструзійним зварюванням між витками як з внутрішньої сторони, так і з зовнішньої. Така технологія дозволяє виготовляти трубні конструкції діаметром до 6000 мм.

Структура стільникової труби суттєво відрізняється від структури труби із суцільною стінкою. Тому розрахунки такого типу труб відрізняються від класичних [1, 17] та повинні враховувати пустотілість стінки [9, 11, 12, 16]. Для прогнозування міцності та довговічності поліетиленових труб з порожнистою будовою стінки [16] потрібно визначити напружено-деформований стан у таких конструкціях, а також встановити допустимі параметри міцності. Саме на основі проведених досліджень можна запропонувати кінцеві формули для інженерних розрахунків і розробити відповідні практичні рекомендації.

Формулювання задачі. Розглядувані циліндричні конструкції зі стільниковою будовою стінки переважно виготовляють з поліетилену марок ПЕ-80 та ПЕ-100 [8]. Поліетилен є в'язкопружним матеріалом. Його поведінка в деформованому стані залежить від величини зовнішнього навантаження, температури та часу експлуатації. Тому при проектуванні поліетиленових трубних конструкцій потрібно враховувати вказані характеристики. Дослідження залежності від температури та часу експлуатації міцності поліетиленових труб із суцільною стінкою при дії внутрішнього тиску уможливили розробку відомих міжнародних стандартів [14, 15]. Згідно з результатами цих робіт допустимі навантаження для стільникових конструкцій можна встановити з умови

$$\max \sigma_i \leq MRS. \quad (1)$$

Тут σ_i – інтенсивність напружень у стінці порожнистої конструкції, MRS – мінімальна довготривала міцність поліетилену [14, 15]. Параметр MRS отримано у [14, 15] шляхом екстраполяції результатів випробувань поліетиленових труб на їх стійкість до внутрішнього тиску на термін експлуатації 50 років при температурі $T = 20$ °С.

У зв'язку з цим для забезпечення надійного періоду експлуатації таких виробів актуальним є створення аналітико-експериментальних моделей

розрахунку напружено-деформованого стану трубчастих полімерних елементів конструкцій зі стільниковою будовою стінки при дії зовнішніх і внутрішніх зусиль. Розрахунки такого характеру для оцінки компонент вектора переміщень проводились у [9, 11, 12]. У цій роботі моделюємо задачу про визначення розподілу напружень уздовж товщини стінки стільникової конструкції.

Аналіз моделі. Відношення діаметра поліетиленової трубки d , з якої будують стільникову конструкцію, до її середнього діаметра D становить $d/D < 1/10$. Виходячи з такого співвідношення між діаметрами, для оцінки напружено-деформованого стану скористаємось апаратом теорії оболонок [2, 5]. Характерним скошенням трубок, із яких будують поліетиленові конструкції, нехтуємо. Схема стінки такої циліндричної конструкції зображена на рис. 1.

Вважаємо, що поліетиленова конструкція працює в межах лінійно-пружної деформації, оскільки для встановлення надійного періоду експлуатації поліетиленової конструкції необхідним є дотримання умови (1), де параметр MRS є меншим від границі текучості [8].

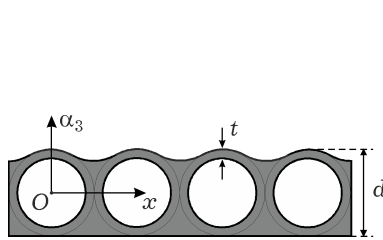


Рис. 1

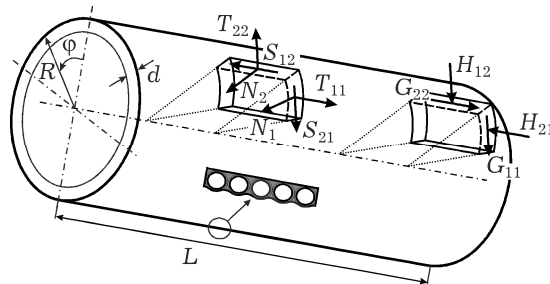


Рис. 2

Стільникову трубу моделюємо циліндричною ортотропною оболонкою (рис. 2), віднесеною до системи координат xOy . Положення точки середньої поверхні оболонки будемо характеризувати координатами x та y , $y = R\phi$, де x – відстань точки вздовж твірної від початкового екваторіального перерізу; R – серединний радіус оболонки; ϕ – кут між початковою і довільною меридіональною площиною.

Основні вихідні рівняння. Рівняння рівноваги є аналогічними до рівнянь рівноваги звичайних оболонок [2]. Компоненти деформацій середньої поверхні ϵ_{11} , ϵ_{22} , ω , χ_{11} , χ_{22} , τ виражаються через компоненти переміщень u , v , w так само, як і для оболонок із суцільними стінками [2].

Однак рівняння стану, які пов'язують зусилля T_{ii} , S_{ij} та моменти C_{ii} , H_{ij} , $i, j = 1, 2$, $i \neq j$, з компонентами деформацій ϵ_{ii} , ω , χ_{ii} , τ середньої поверхні, записуємо за їх аналогами [9, 12] до рівнянь теорії оболонок [5]:

$$\begin{aligned} T_{ii} &= B_{ii}(x)\epsilon_{ii} + \nu B_{jj}(x)\epsilon_{jj}, & G_{ii} &= -D_{ii}(x)\chi_{ii} - \nu D_{jj}(x)\chi_{jj}, & i, j &= 1, 2, \\ S_{12} &= B_{12}(x)\omega, & S_{21} &= B_{12}(x)\omega + D_{12}(x)\frac{\tau}{R}, \\ H_{12} &= H_{21} = D_{12}(x)\tau, \end{aligned} \quad (2)$$

де, на відміну від випадку суцільної стінки оболонки, жорсткості B_{ij} , D_{ij} залежать від координати Ox та є періодичними функціями. Далі, аналогічно до теорії оболонок, жорсткості, що входять у співвідношення (2), подаємо у вигляді

$$\begin{aligned}
B_{ii}(x) &= t_{ii}(x) \frac{Ed}{1-\nu^2}, & D_{ii}(x) &= g_{ii}(x) \frac{Ed^3}{12(1-\nu^2)}, \quad i = 1, 2, \\
B_{12}(x) &= t_{12}(x) \frac{Ed}{2(1+\nu)}, & D_{12}(x) &= g_{12}(x) \frac{Ed^3}{12(1+\nu)}. \quad (3)
\end{aligned}$$

Тут E і ν – модуль Юнга та коефіцієнт Пуассона поліетилену; d – діаметр поліетиленової трубки (рис. 1); $t_{ij}(x)$, $g_{ij}(x)$ – періодичні функції з періодом d , які визначаються стільниковою структурою.

Функції $t_{11}(x)$, $g_{11}(x)$ визначаємо з числового експерименту. На прямокутному стільниковому елементі – порожнистій пластині, поздовжній переріз якої зображено на рис. 1, задаємо окремо одиничні зусилля T_{11} та моменти G_{11} , які відповідають напрямку Ox . Тоді з використанням методу скінченних елементів [4] за допомогою програмного комплексу [10] визначаємо компоненти переміщень серединної поверхні стільникового елемента в умовах плоскої деформації.

За отриманими значеннями компонент переміщень серединної поверхні обчислюємо компоненти деформацій ε_{11} , χ_{11} серединної поверхні. Далі на основі співвідношень (2) і (3) табулюємо функції $t_{11}(x)$, $g_{11}(x)$ уздовж одного періоду. Подібно будуємо функції $t_{12}(x)$, $g_{12}(x)$. У той же час, відшукання функцій $t_{22}(x)$, $g_{22}(x)$ є менш трудомістким, оскільки, прийнявши гіпотези, аналогічні, як у [13], знаходимо, що

$$\begin{aligned}
t_{22}(x) &= \begin{cases} \frac{d_1(x)}{d} + \frac{1}{2} - 2\sqrt{\left(\frac{1-t}{2}\right)^2 - \frac{x^2}{d^2}}, & x \in \Lambda, \\ \frac{d_1(x)}{d} + \frac{1}{2}, & x \in \left[-\frac{d}{2}, \frac{d}{2}\right] \setminus \Lambda, \end{cases} \\
g_{22}(x) &= \left[\frac{d_1(x)}{d} - \frac{z_c}{d}\right]^3 + \left[\frac{1}{2} + \frac{z_c}{d}\right]^3 - \\
&\quad - 2\sqrt{\left(\frac{1-t}{2}\right)^2 - \frac{x^2}{d^2}} \left[\left(\frac{1-t}{2}\right)^2 - \frac{x^2}{d^2} + \frac{z_c^2}{d^2}\right], \quad x \in \Lambda, \\
g_{22}(x) &= \left[\frac{d_1(x)}{d} - \frac{z_c}{d}\right]^3 + \left[\frac{1}{2} + \frac{z_c}{d}\right]^3, \quad x \in \left[-\frac{d}{2}, \frac{d}{2}\right] \setminus \Lambda,
\end{aligned}$$

де

$$\begin{aligned}
d_1(x) &= \begin{cases} \sqrt{\frac{d^2}{4} - x^2}, & x \in \left[-\frac{d}{4}, \frac{d}{4}\right], \\ \frac{\sqrt{3}}{2}d - \sqrt{|x|(1-|x|)^2}, & x \in \left[-\frac{d}{2}, -\frac{d}{4}\right] \cup \left[\frac{d}{4}, \frac{d}{2}\right], \end{cases} \\
z_c &= -0.12d \frac{1}{3.73 - 2\pi(1/2 - t/d)^2}.
\end{aligned}$$

Тут $\Lambda = \left[-\frac{d}{2}, -\frac{d}{2} + t\right] \cup \left[\frac{d}{2} - t, \frac{d}{2}\right]$; t – товщина поліетиленової трубки (рис. 1).

Графіки залежностей функцій $t_{ii}(x)$, $g_{ii}(x)$ від x/d при $d/t = 10$, наведено на рис. 3.

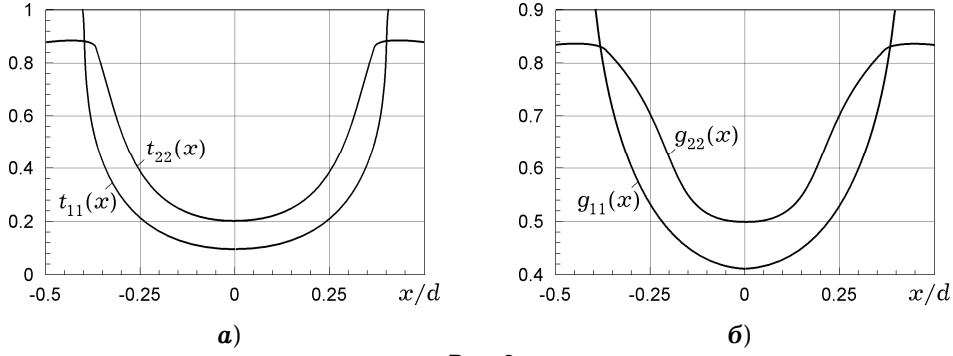


Рис. 3

Враховуючи періодичний характер стільникової полімерної структури на проміжку $[x - d/2, x + d/2]$, усі компоненти, які характеризують напружено-деформований стан, усереднимо на цьому проміжку – в напрямку осі Ox уздовж діаметра поліетиленової трубки [9, 12], тобто подамо як

$$U^*(x, \varphi) = \frac{1}{d} \int_{x-d/2}^{x+d/2} U(x, \varphi) dx,$$

де $U(x, \varphi) = \{u, \varepsilon, \chi, \omega, \tau, T, G\}$. Тоді рівняння стану (2) набудуть вигляду

$$\begin{aligned} T_{ii}^* &= B_{ii}^* \varepsilon_{ii}^* + \nu B_{jj}^* \varepsilon_{jj}^*, \\ G_{ii}^* &= -D_{ii}^* \chi_{ii}^* - \nu D_{jj}^* \chi_{jj}^*, \\ S_{12}^* &= B_{12}^* \omega^*, \quad S_{21}^* = B_{12}^* \omega^* + D_{12}^* \frac{\tau^*}{R}, \\ H_{12}^* &= H_{21}^* = D_{12}^* \tau^*. \end{aligned} \quad (4)$$

Відповідно жорсткості B_{ij} , D_{ij} будуть виражатися формулами

$$\begin{aligned} B_{ii}^* &= f_{ii} \frac{Ed}{1 - \nu^2}, & D_{ii}^* &= p_{ii} \frac{Ed^3}{12(1 - \nu^2)}, \quad i = 1, 2, \\ B_{12}^* &= f_{12} \frac{Ed}{2(1 + \nu)}, & D_{12}^* &= p_{12} \frac{Ed^3}{12(1 + \nu)}, \end{aligned} \quad (5)$$

де

$$\begin{aligned} f_{11} &= \frac{d}{\int_{-d/2}^{d/2} \frac{1}{t_{11}(x)} dx}, & f_{22} &= \frac{1}{d} \int_{-d/2}^{d/2} t_{22}(x) dx, \\ p_{11} &= \frac{d}{\int_{-d/2}^{d/2} \frac{1}{g_{11}(x)} dx}, & p_{22} &= \frac{1}{d} \int_{-d/2}^{d/2} g_{22}(x) dx, \\ f_{12} &= \frac{d}{\int_{-d/2}^{d/2} \frac{1}{t_{12}(x)} dx}, & p_{12} &= \frac{d}{\int_{-d/2}^{d/2} \frac{1}{g_{12}(x)} dx}. \end{aligned}$$

Залежність параметрів $f_{ij} = f_{ij}(d/t)$ та $p_j = p_{ij}(d/t)$, що входять у співвідношення (5) та відображають вплив стільникової структури, від величини d/t зображена графічно на рис. 4. З результатів, наведених на рис. 4, випливає, що жорсткості B_{11}^* , D_{11}^* оболонки стільникового типу в осьовому напрямку є меншими порівняно з жорсткостями B_{22}^* , D_{22}^* у коловому напрямку (по її ободу). Зокрема, жорсткості стінки стільникової труби в осьовому напрямку для величини $d/t = 10$ приблизно в три рази менші від відповідних жорсткостей у коловому напрямку. Графіки, зображені на рис. 4, дозволяють встановити необхідні жорсткості (5) при формуванні повної системи рівнянь оболонкового типу для стільникових конструкцій.

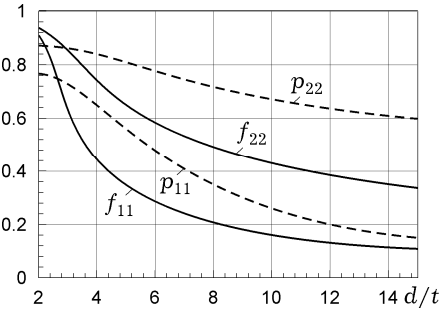


Рис. 4

Оцінка напруженого стану у стінці стільникової конструкції. Згідно зі співвідношенням (1) для встановлення граничного стану стільникових конструкцій необхідною є оцінка напруженого стану у їх стінці.

Визначивши на основі рівнянь (4), (5) зусилля T_{ii}^* , S_{ij}^* та моменти G_{ii}^* , H_{ij}^* , можемо розрахувати напруження σ_{ij} у стінці стільника. Компоненту σ_{11} подамо у вигляді

$$\sigma_{11}(x, \varphi, \alpha_3) = \left[\frac{T_{11}^*(x, \varphi)}{d} n_{11}(x, \alpha_3) - \frac{12G_{11}^*(x, \varphi)}{d^3} m_{11}(x, \alpha_3) \right] \left(1 + \frac{\alpha_3}{R} \right)^{-1}, \quad (6)$$

де $n_{11}(x, \alpha_3)$, $m_{11}(x, \alpha_3)$ – корекційні функції, які відображають вплив стільникової структури на напружений стан у стінці конструкції порівняно із суцільною стінкою такої ж товщини. Обчислюємо функції $n_{11}(x, \alpha_3)$, $m_{11}(x, \alpha_3)$ з використанням методу скінченних елементів. Для цього розглядаємо пластинчастий стільниковий елемент, що перебуває в умовах плоскої деформації (рис. 1) та навантажений зусиллям $T_{11}^* = 100$ кН/м і моментом $G_{11}^* = 1$ кН. Для пластинчастого зразка задаємо при цьому діаметр $d = 10$ см, а $d/t = 10$ (рис. 1). За допомогою скінченноелементної програми [10] визначаємо напружений стан такого зразка. Результати числових розрахунків наведено на рис. 5.

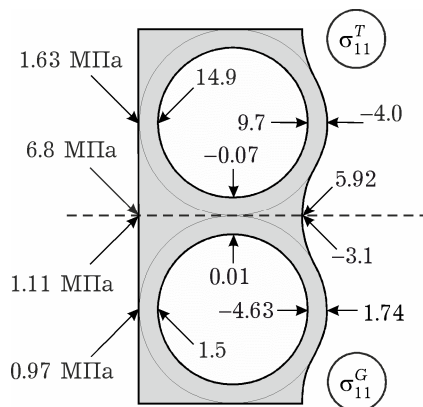


Рис. 5

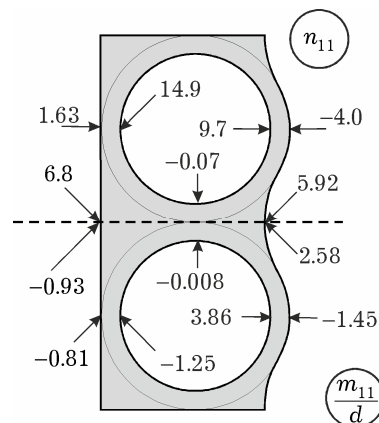


Рис. 6

За отриманими значеннями компонент напружень $\sigma_{11}^T(x, \alpha_3)$ та $\sigma_{11}^G(x, \alpha_3)$ табулюємо функції $n_{11}(x, \alpha_3) = d\sigma_{11}^T(x, \alpha_3)/T_{11}^*$, $m_{11}(x, \alpha_3) = -d^3\sigma_{11}^G(x, \alpha_3)/(12G_{11}^*)$, кількісний характер зміни яких подано на рис. 6. Зміна значень параметрів T_{11}^* , G_{11}^* і d не впливає на якісну та кількісну поведінку функцій n_{11} і m_{11}/d .

Компоненту напруження σ_{22} у стінці стільникової циліндричної конструкції оцінюємо за допомогою співвідношення

$$\sigma_{22}(x, \varphi, \alpha_3) = \left[\frac{T_{22}^*(x, \varphi)}{d} n_{22} - \frac{12G_{22}^*(x, \varphi)(\alpha_3 - z_c)}{d^3} m_{22} \right], \quad (7)$$

де

$$n_{22} = [0.933 - \pi(1/2 - t/d)^2]^{-1},$$

$$m_{22} = ([0.837 - 3\pi(1/2 - t/d)^4] - 12(z_c/d)^2 n_{22}^{-1})^{-1}.$$

Аналогічно встановлюємо формули для розрахунку компонент напружень σ_{12} . Вклад інших компонент напружень є незначним порівняно з визначеними. Тому при подальших розрахунках ними нехтуємо.

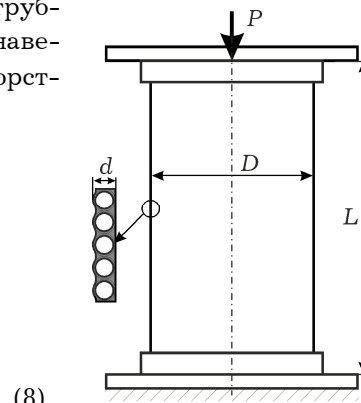
Рекомендації для проектування стільникових резервуарів, вертикально укладених у ґрунт. Дослідимо граничний стан поліетиленового резервуара. Висота резервуара становить L , а його діаметр – D . Стільниковий резервуар змонтований з поліетиленової трубки, для якої $d/t = 10$. На основі результатів, наведених на рис. 4, встановлюємо циліндричні жорсткості та жорсткості на розтяг:

$$D_{11}^* = \frac{0.241d^3E}{12(1 - \nu^2)}, \quad D_{22}^* = \frac{0.672d^3E}{12(1 - \nu^2)},$$

$$D_{12}^* = \frac{0.341d^3E}{12(1 + \nu)},$$

$$B_{11}^* = \frac{0.158dE}{1 - \nu^2}, \quad B_{22}^* = \frac{0.432dE}{1 - \nu^2},$$

$$B_{12}^* = \frac{0.27dE}{2(1 + \nu)}.$$



(8)

Рис. 7

За допомогою скінченноелементної програми [10] виконано обчислення зусиль T_{ii}^* , S_{ij}^* , моментів G_{ii}^* , H_{ij}^* та переміщень u^* , v^* , w^* . При цьому жорсткості досліджуваного резервуара задавали виразами (8).

Отримані числові розрахунки порівнювали з відповідними експериментальними даними для стільникового резервуара (рис. 7) діаметра $D = 0.65$ м, виготовленого з поліетиленової трубки, діаметр якої $d = 32$ мм. Висота резервуара становить $L = 1.6$ м. Стільниковий резервуар навантажували силою P , паралельною до його твірної. Порівняння експериментальних даних укорочення стільникової конструкції ΔL_{exp} з відповідними теоретичними розрахунками ΔL_{teor} наведено в табл. 1.

Таблиця 1

P , кН	20	40	60	80	100	120	140	160
ΔL_{teor} , мм	4.4	8.7	13.1	17.5	22.1	26.5	31.0	35.5
ΔL_{exp} , мм	3.1	6.0	9.5	13.0	17.2	21.6	26	31.5

Як бачимо, співпадиння результатів є задовільним, що підтверджує достовірність та ефективність запропонованого методу оцінки напружено-деформованого стану стільникових циліндричних конструкцій. Це дозволяє розробити рекомендації щодо умов укладки вертикальних стільникових резервуарів у ґрунт на глибину H . Розподіл навантаження, спричиненого дією ваги ґрунту, на днищі резервуара задаємо згідно з формулою [6] $q = H\gamma$, що відповідає рівномірним зусиллям. Тут γ – питома вага ґрунту. Беручи до уваги вирази (8) для жорсткостей, з використанням скінченно-елементної програми [10] обчислюємо зусилля T_{ii}^* та згинальні моменти G_{ii}^* по висоті конструкції. На рис. 8 наведено графіки залежностей T_{ii}^* , G_{ii}^* від x для резервуара з такими геометричними параметрами: $D = 1$ м, $L = 1.5$ м, $d = 50$ мм, $d/t = 10$. Встановивши з рис. 8 максимальні зусилля і моменти, на основі співвідношень (6), (7) і даних з рис. 6 розраховуємо інтенсивність напружень σ_i у найбільш небезпечних перерізах стінки стільникового резервуара. Знайдені значення для σ_i вказані стрілками на рис. 9.

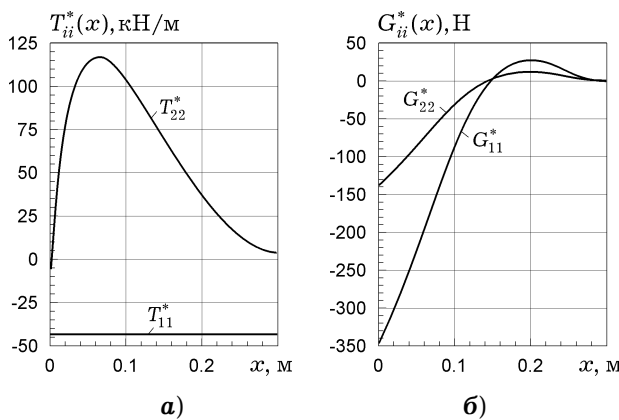


Рис. 8

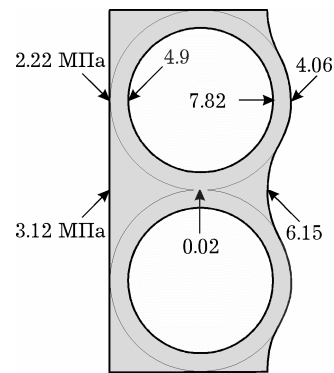


Рис. 9

На підставі нерівності (1) встановлюємо, що при проектуванні стільникових резервуарів, вертикально укладених у ґрунт, необхідним є виконання умови

$$\frac{H\gamma D}{d} \sqrt{11.13 - 5.47 \frac{D}{d} + 0.68 \left(\frac{D}{d}\right)^2} \leq \text{MRS}. \quad (9)$$

Приклад. У системі самостійної каналізації потрібно укласти вертикально у ґрунт на глибину $H = 1$ м стільниковий резервуар діаметра $D = 1$ м. Конструкція виготовлена з поліетилену ПЕ-80, для якого $\text{MRS} = 8$ МПа [8]. Питома густина ґрунту для засипки $\gamma = 18$ кН/м³. Попередньо необхідно встановити діаметр поліетиленової трубки, з якої буде сконструйовано відповідний резервуар (можливі варіанти: $d = 25, 32, 40, 50$ мм).

Для забезпечення надійного терміну експлуатації стільникового резервуара, вертикально укладеного у ґрунт, необхідно дотримуватись виконання умови (9). Підставляючи значення D , H , γ , MRS та вказані діаметри d поліетиленової трубки у співвідношення (9), отримаємо, що при проектуванні такого стільникового резервуара потрібно задавати діаметр поліетиленової трубки $d = 40$ мм.

Висновки. Для оцінки напружено-деформованого стану тонкостінних циліндричних елементів конструкцій зі стільниковою будовою стінки на основі теорії оболонок записано відповідну систему диференціальних рівнянь. Циліндричні жорсткості та жорсткості на розтяг визначено чисельно.

Встановлено, що жорсткості оболонки стільникового типу в осьовому напрямку є меншими порівняно з коловими, причому жорсткості в осьовому напрямку при $d/t = 10$ приблизно в три рази є меншими від відповідних жорсткостей у коловому напрямку.

Здійснено порівняння теоретичних розрахунків з одержаними експериментальними даними для укорочення стільникового резервуара, навантаженого зусиллями, паралельними до його твірної. Досліджено напружений стан поліетиленового стільникового резервуара, що встановлюється вертикально у ґрунті. На основі цього розроблено рекомендації для підбору глибини засипки ґрунту, діаметра резервуара та поліетиленової трубки.

1. Балсон Ф. С. Заглубленные сооружения: статическая и динамическая прочность. – Москва: Стройиздат, 1991. – 241 с.
2. Гольденвейзер А. Л. Теория упругих тонких оболочек. – Москва: Наука, 1976. – 512 с.
3. Джур Є. О., Кучма Л. Д., Манько Т. А. та ін. Полімерні композиційні матеріали в ракетно-космічній техніці. – Київ: Вища освіта, 2003. – 399 с.
4. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – Москва: Мир, 1975. – 543 с.
Те саме: Zienkiewicz O. C. The finite-element method in engineering science. – London–New York: McGraw-Hill, 1975.
5. Кармишин А. В., Лясковец В. А., Мяченков В. И., Фролов А. Н. Статика и динамика тонкостенных оболочечных конструкций. – Москва: Машиностроение, 1975. – 376 с.
6. Клейн Г. К. Расчет подземных трубопроводов. – Москва: Стройиздат, 1969. – 240 с.
7. Корпорация «Энергоресурс-инвест» представляет новую технологию производства крупногабаритных полимерных изделий с пустотелой (сотовой) конструкцией стенки // Полимерные трубы. – 2007. – № 2(3). – С. 6–7.
8. Крупак І. М. Інженерні мережі з полімерів. – Львів: ЕКОінформ, 2008. – 372 с.
9. Максимук О. В., Стащук М. Г., Дорош М. І. Розрахунок параметрів стільникового полімерного трубопроводу, підкріпленого періодичною системою пружних шпангоутів // Мат. методи та фіз.-мех. поля. – 2009. – 52, № 2. – С. 157–165.
Те саме: Maksymuk O. V., Stashchuk M. H., Dorosh M. I. Calculation of parameters of a honeycomb polymeric pipeline supported by a periodic system of elastic ribs // J. Math. Sci. – 2010. – 170, No. 6. – P. 764–775.
10. Рычков С. П. Моделирование конструкций в среде MSC.visual NASTRAN для Windows. – Москва: НТ Пресс, 2004. – 552 с.
11. Стащук М. Г., Дорош М. І. Розрахунок деформованого стану стільникових труб у неоднорідному ґрунті // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2010. – 46, № 6. – С. 47–50.
Те саме: Stashchuk M. H., Dorosh M. I. Numerical analysis of the strained state of cellular pipes in inhomogeneous soil // Mater. Sci. – 2011. – 46, No. 6. – P. 763–768.
12. Стащук Н. Г., Максимук А. В., Дорош М. И. Расчет прогиба композитного трубопровода, изготовленного путем намотки трубки // Механика композитных материалов. – 2011. – 47, № 4. – С. 567–578.
То же: Stashchuk M. H., Maksymuk O. V., Dorosh M. I. Calculation of the deflection of a composite pipeline made by winding tubes // Mech. Compos. Mater. – 2011. – 47, No. 4. – P. 395–404.
13. Феодосьев В. И. Сопrotивление материалов. – Москва: Наука, 1972. – 544 с.
14. ISO 12162:1995 – Thermoplastics materials for pipes and fittings for pressure applications. – Classification and designation. – Overall service (design) coefficient.
15. ISO 9080:2003 – Plastics piping and ducting systems. – Determination of the long-term hydrostatic strength of thermoplastics materials in pipe form by extrapolation.
16. McGrath T. J., Moore I. D., Hsuan G. Y. NCHRP Report 631: Updated test and design methods for thermoplastic drainage pipe. – Washington: Transportation Research Board, 2009. – http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_631.pdf.
17. Moser A. P., Folkman S. L. Buried pipe design. – New York: McGraw-Hill, 2008. – 601 p.

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ТРУБНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПОЛЫМ (СОТОВЫМ) СТРОЕНИЕМ СТЕНКИ

Предложена методика оценки напряженно-деформированного состояния цилиндрических крупногабаритных конструкций с полым (сотовым) строением стенки. Конструкции такого типа смоделированы цилиндрическими ортотропными оболочками, для которых теоретически установлены цилиндрические жесткости и жесткости на растяжение. Предложено соотношение для оценки напряженного состояния полой стенки сотовых конструкций. Исследовано напряженно-деформированное состояние сотовых резервуаров, вертикально уложенных в почву, а также предложены рекомендации для их проектирования.

ESTIMATION OF THE STRESS STATE OF POLYMERIC PIPE CONSTRUCTIONS WITH HOLLOW (CELLULAR) STRUCTURE OF WALL

Methodology of estimation of the stress-strain state of cylindrical large-sized constructions with the hollow (cellular) structure of wall is offered. The constructions of such type are modeled by cylindrical shells for which cylindrical stiffness and tensile stiffness are established theoretically. The relation to estimate the stress state of hollow wall of cellular structures is proposed. The stress-strain state of cellular reservoirs vertically placed in soil is studied and recommendations are developed to project them.

Фіз.-мех. ін-т ім. Г. В. Карпенка
НАН України, Львів

Одержано
16.05.12