

Розрахунок на міцність водопровідного пояса дощувальної машини з труб ПВХ

В.Я. Калініченко, кандидат технічних наук
В.М. Швайко, кандидат фізико-математичних наук

Визначено міцність трубопроводу з ПВХ на згин між опорами. На трубопровід діють сила ваги, яка складається з ваги труб і ваги води всередині труби, та реакції опор. Сила ваги рівномірно розподілена по довжині трубопроводу.

У розвинених країнах сьогодні близько 80 % трубопроводів виготовлено з полімерних матеріалів. Останніми роками і в нашій державі відбуваються зміни в інженерних мережах для водопостачання, каналізації та тепла. Технологічні та недорогі пластикові труби витісняють звичні чавунні та металеві, і цей крок цілком зрозумілий і виправданий у разі раціонального і грамотного вибору і застосування того чи іншого композиту.

Полімерні матеріали найкраще поєднують усі властивості, необхідні для експлуатації інженерних мереж: тривалий термін експлуатації, стійкість до тиску і температур, корозійну стійкість, високу еластичність і ударостійкість, простоту та надійність з'єднання, технологічність та економічність у виготовленні як самих труб, так і з'єднувальних деталей до них, легкість монтажу. Тому сьогодні труби з полімерів займають провідне місце у світі в багатьох галузях промисловості та житлово-комунального господарства. Із усього різноманіття полімерних труб широке застосування знаходять труби з пластифікованого полівінілхлориду (ПВХ). В Європейському співтоваристві вони займають 65 % від обсягу вироблених труб з полімерів і застосовуються в основному для питних водопроводів, зрошувальних систем та каналізації. Вибір матеріалу ПВХ як сировини для виробництва труб обумовлений такими фізико-механічними показниками: найвищі тривала міцність і модуль пружності, найнижчі коефіцієнт лінійного розширення та теплопровідність.

Труби з ПВХ можуть перебувати в експлуатації без хімічних і механічних змін протягом 50 років і більше. Просте за конструкцією і надійне герметичне з'єднання з використанням ущільнювача кільця дозволяє використовувати їх у будівництві трубопроводів на рухливих ґрунтах і в сейсмічних районах. Завдяки гладкій внутрішньої поверхні втрати тиску в трубах ПВХ на 30 % менше, ніж у сталевих або чавунних. На внутрішній поверхні труб, навіть після тривалої експлуатації, відсутні відклади. Високий модуль пружності (3000 Н/мм) сприяє стійкості труб ПВХ до гідравлічних ударів. Еластичне сприйняття зовнішнього навантаження зменшує небезпеку розриву трубопроводу. За рахунок невеликої величини модуля пружності поліетилену порівняно з іншими матеріалами труб, у разі раптової зупинки потоку води в трубі і

гідроудару, швидкість поширення ударної хвилі, збільшення початкового тиску будуть незначними і без пошкодження запірно-регулювальної арматури.

Використання труби ПВХ для водопровідного пояса дошувальних машин також є доцільним, про що свідчать результати розрахунків міцності такого трубопроводу на згин між опорами [1].

На трубопровід діють сила ваги, яка складається з ваги труб і ваги води всередині труби, та реакції опор. Сила ваги рівномірно розподілена по довжині трубопроводу [2]. Балка – нерозрізна. Нерозрізними називають балки, що опираються на більш ніж дві опори й не мають проміжних шарнірів. Такі балки широко застосовують у різних конструкціях. Вони належать до статично невизначуваних [3].

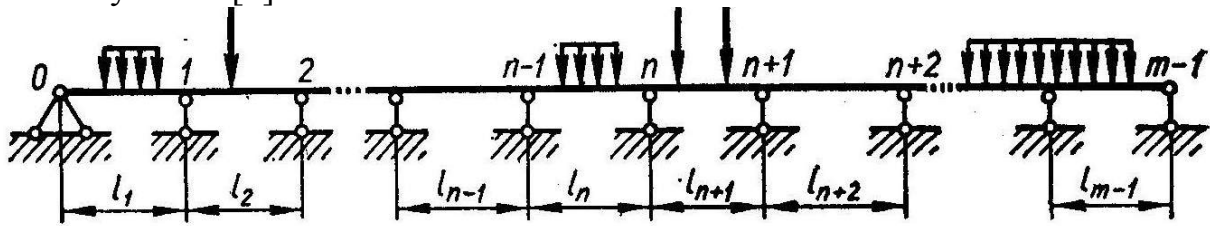


Рис. 1

На рис. 1 показано балку, що опирається на m шарнірних опор. Одна з них виконується шарнірно-нерухомою для сприймання осьового навантаження, решта – шарнірно-рухомими, що дає змогу балці вільно змінювати свою довжину зі зміною температури.

Опори нумерують зліва направо, позначаючи крайню ліву номером 0; номер прольоту – номером правої опори, що належить йому.

При обпиранні на m шарнірних опор маємо стільки ж вертикальних реакцій. Оскільки умов рівноваги можна скласти тільки дві, то така система ($m-2$) разів статично невизначувана.

Основну систему будуватимемо встановленням шарнірів у перерізах над усіма проміжними опорами (рис. 2). Зайвими невідомими в цьому разі будуть згинальні моменти в опорних перерізах балки.

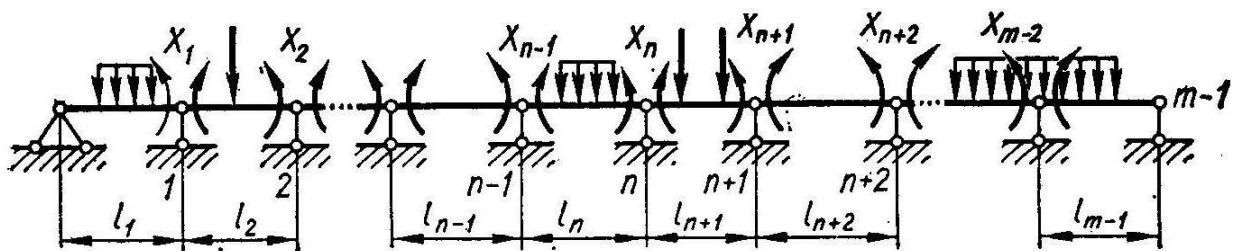


Рис. 2

Отже, еквівалентна система становить ряд простих шарнірно обпертих балок із заданим навантаженням та невідомими згинальними моментами $M_1 = X_1$; $M_2 = X_2$; ... ; $M_{n+1} = X_{n+1}$, прикладеними в перерізах, де поставлено шарніри. Напрями моментів для певності вибрано додатними. За такого вибору основної системи дія заданого навантаження поширюється тільки на той проліт, де воно

прикладене: вплив його на інші прольоти визначається опорними згинальними моментами M_i .

Складемо тепер додаткові рівняння переміщень. Вони виражають рівність нулю переміщень опорних перерізів у напрямках дії невідомих моментів M_i .

$$\Delta_n = \Delta_{nлiв} + \Delta_{nп} = 0. \quad (1)$$

Оскільки основна система складається з окремих, не зв'язаних між собою двохопорних балочок, то для розкриття умови (1) слід розглянути лише два прольоти основної системи, що примикають до n -ї опори.

Запишемо умову (1) у канонічному вигляді:

$$\delta_{n,n-1}X_{n-1} + \delta_{nn}X_n + \delta_{n,n+1}X_{n+1} + \Delta_{nP} = 0. \quad (2)$$

Для визначення переміщень Δ та δ , що входять до цього рівняння, будемо епюри згинальних моментів в основній системі окремо від заданого навантаження та від кожної зі зайвих невідомих, що дорівнюють одиниці.

Застосовуючи спосіб Верещагіна і вважаючи, що вздовж кожного прольоту балка має однаковий переріз, знаходимо:

$$\Delta_{nP} = \frac{1}{EJ_n} \Omega_n \frac{a_n}{l_n} + \frac{1}{EJ_{n+1}} \Omega_{n+1} \frac{b_{n+1}}{l_{n+1}}; \quad (3)$$

$$\delta_{n,n+1} = \frac{1}{EJ_n} \frac{l_n}{2} \frac{1}{3} = \frac{l_n}{6EJ_n}; \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \delta_{nn} &= \frac{1}{EJ_n} \frac{l_n}{2} \frac{2}{3} + \frac{1}{EJ_{n+1}} \frac{l_{n+1}}{2} \frac{2}{3} = \\ &= \frac{l_n}{3EJ_n} + \frac{l_{n+1}}{3EJ_{n+1}}; \end{aligned} \quad (5)$$

$$\delta_{n,n-1} = \frac{1}{EJ_{n+1}} \frac{l_{n+1}}{2} \frac{1}{3} = \frac{l_{n+1}}{6EJ_{n+1}}. \quad (6)$$

Підставляючи вирази (3)–(6) у формулу (2), дістаємо таке рівняння:

$$\begin{aligned} X_{n-1} &= \frac{l_n}{J_n} + 2X_n \left(\frac{l_n}{J_n} + \frac{l_{n+1}}{J_{n+1}} \right) + X_{n+1} \frac{l_{n+1}}{J_{n+1}} = \\ &= -6 \left(\frac{\Omega_n a_n}{J_n l_n} + \frac{\Omega_{n+1} a_{n+1}}{J_{n+1} l_{n+1}} \right). \end{aligned} \quad (7)$$

Оскільки за такого вибору основної системи всі зайві невідомі є згинальними моментами в опорних перерізах балки, то в рівнянні (7) X_i змінюємо на M_i . Отже,

$$\begin{aligned} M_{n-1} \frac{l_n}{J_n} + 2M_n \left(\frac{l_n}{J_n} + \frac{l_{n+1}}{J_{n+1}} \right) + M_{n+1} \frac{l_{n+1}}{J_{n+1}} = \\ = -6 \left(\frac{\Omega_n a_n}{J_n l_n} + \frac{\Omega_{n+1} b_{n+1}}{J_{n+1} l_{n+1}} \right). \end{aligned} \quad (8)$$

Рівняння (8) називається рівнянням трьох моментів. Складаємо їх стільки, скільки вводимо шарнірів, утворюючи основну систему.

Для балки постійного поперечного перерізу ($J = \text{const}$) рівняння трьох моментів спрощується так:

$$M_{n-1}l_n + 2M_n(l_n + l_{n+1}) + M_{n+1}l_{n+1} = -6 \left(\frac{\Omega_n a_n}{l_n} + \frac{\Omega_{n+1} b_{n+1}}{l_{n+1}} \right) \quad (9)$$

Визначивши реакції, будуюмо епюри Q та M для кожної двохопорної балочки основної системи.

Розв'язуючи здобуту таким чином систему рівнянь, знаходимо невідомі опорні моменти. Потім визначаємо реакції і будуюмо епюри поперечних сил та згинальних моментів. Останню епюру, як зазначалося, можна побудувати як суму епюр моментів від навантаження та від опорних моментів.

У роботі були розраховані кут θ_A і величина максимального прогину f труби ПВХ на різних відстанях l між точками кріплення натягуючих тросів.

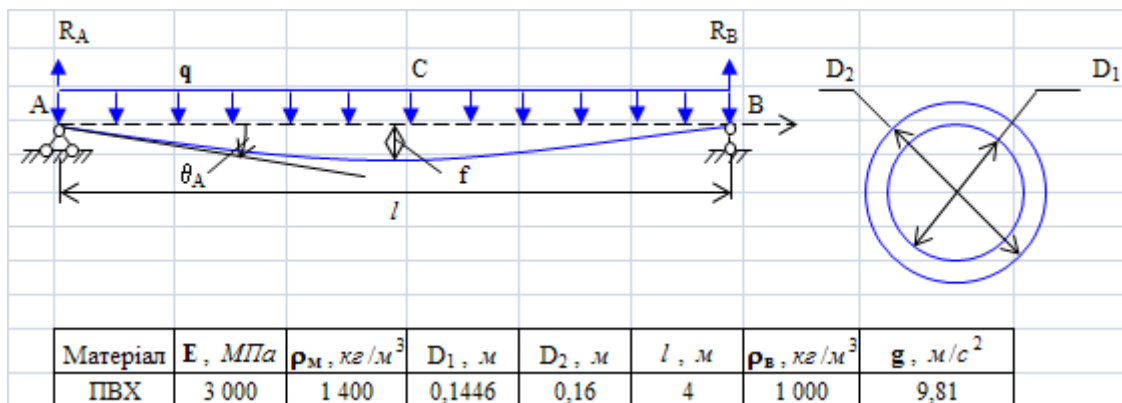


Рис. 3

Висновки

Розрахунком одного з прольотів водопровідного пояса, який виготовлений з труб пластифікованого полівінілхлориду, доведено, що під час пропуску води трубопровід відхиляється від свого стаціонарного положення, при цьому виникає кут відхилення θ_A та прогин f . Урахувавши довжину прольоту, реакції, які діють на трубопровід, та модуль пружності трубопроводу, встановили, що при діаметрі труби 160 мм та довжині прольоту між точками кріплення 4 м прогин f становить 0,022 м, а кут відхилення θ_A – 1,007°. У свою чергу, при діаметрі труби 180 мм та довжині прольоту 4 м, прогин f дорівнює 0,017 м, а кут відхилення θ_A – 0,800°.

Бібліографія

1. Сельскохозяйственные мелиорации и водоснабжение / [Н.И. Ильин и др.]. – М. : Колос, 1983.
2. Исаев А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / Исаев А.П., Сергеев В.И., Дидур В.А. – М. : Агропромиздат, 1990.
3. Опір матеріалів: підручник / [Г.С. Писаренко та ін.]. – К. : Вища шк., 1993. – 655 с.