

контактных напряжений под фундаментами натуральных размеров: Межвузовский сборник. – Новочеркасск: Изд-во НПИ, 1986. – С. 43–46. 6. Родин С.В., Чеботарева Е.Г. Проектирование двухслойных фундаментов под колонны каркасных зданий: Сборник научных трудов «Строительство и техногенная безопасность». – Симферополь, 2008. – С. 52–57. 7. Залесов А.С., Тетиор А.Н., Лехно А.М. и др. Прочность плитных фундаментов по наклонным сечениям // Бетон и железобетон. – 1987. – №10. – С. 45–46.

УДК 532.542:532.559.3

В.В. Чернюк

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра гідравліки та сантехніки

УРАХУВАННЯ ЗОВНІШНЬОГО ГІДРОДИНАМІЧНОГО ТИСКУ У ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОМУ РІВНЯННІ РУХУ РІДИНИ ЗМІННОЇ МАСИ ДЛЯ НАПІРНИХ РОЗПОДІЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ

© Чернюк В.В., 2010

У диференціальне рівняння руху рідини змінної маси для напірних розподільних трубопроводів (РТ) введено компоненту гідродинамічного тиску зовнішнього потоку рідини. Цим підвищується точність розрахунку РТ.

Ключові слова: напірні розподільні трубопроводи; рух рідини змінної маси.

A component which takes into account the hydrodynamic pressure of the internal fluid flow is introduced into the differential equation of variable mass fluid flow for distributive pipelines (DP). Such correction improves the accuracy of calculation of DP.

Keywords: pressure distributive pipelines, variable mass fluid flow.

Вступ. Напірні потоки з дискретною шляховою роздачею рідини поширені у більшості виробництв (іригації, вентиляції, водопостачанні, водовідведенні, водному транспорті, хімічній, металургійній і харчовій промисловостях тощо) Розроблені різні методики розрахунку напірних розподільних трубопроводів (РТ). Точний їх гідравлічний розрахунок можна зробити тільки за допомогою теорії гідравліки змінної маси [1, с. 4].

Творцем теорії руху тіл змінної маси є проф. І. В. Мещерський. Він поставив задачу, вивів основні рівняння та вказав галузі їх застосування. Роботи проф. І. В. Мещерського “Динаміка точки змінної маси” (1897 р.) і “Рівняння руху точки змінної маси в загальному випадку” (1904 р.) створили новий розділ теоретичної механіки. Спираючись на цей розділ, стали успішно розвиватися ракетодинаміка та гідравліка рідини змінної маси. На основі рівнянь, отриманих проф. І. В. Мещерським для точки змінної маси, проф. І. В. Маккавеев у 1928 р. вперше вивів загальне диференціальне рівняння руху рідини змінної маси (ДРРРЗМ) і застосував його до розв’язування задачі про гідравлічний стрибок. У 1937 р. проф. Я. Т. Ненько одержав ДРРРЗМ для цілого потоку і застосував його до задач з розрахунку дірчастих РТ з безперервною шляховою роздачею рідини. Він же установив критерії класифікації трубопроводів за довжиною. У тому ж році проф. І. М. Коновалов отримав ДРРРЗМ, враховуючи закон кількості руху, і застосував його під час розв’язування задач про рух рідини в трубопроводах і каналах. У 1940 р. проф. А. Н. Патрашев на основі урахування зміни питомої енергії під час руху рідини у каналах отримав ДРРРЗМ [2, с. 3–4].

Аналіз ДРРРЗМ. Загальне ДРРРЗМ, що описує одночасне збирання та роздачу маси, проф. Г. А. Петров записує так [2, с. 17]:

$$\frac{a_o}{g} V dV + d\left(\frac{p}{g}\right) + dz + i_f dx + \frac{V^2}{g} da_o + \frac{a_o(V - v_1 \cos b) \cdot V}{g} \cdot \frac{dQ_1}{Q} + \frac{a_o(v_2 \cos j - V) \cdot V}{g} \cdot \frac{dQ_2}{Q} = 0, \quad (1)$$

де передостанній член відноситься до приєднання маси, а останній – до її відділення; $dz = \sin \gamma \cdot dx$ – геометричний перепад осі перфорованого трубопроводу на його ділянці завдовжки dx ; γ – кут нахилу осі трубопроводу до обрїю; $i_f dx = dh_x$ – втрати напору на тертя по довжині трубопроводу; b й j – кути між векторами швидкостей основного потоку \vec{V} усередині перфорованого трубопроводу та струменів \vec{v} , що приєднуються та від'єднуються відповідно.

Проф. Г. А. Петров вважає, що “без великої помилки можна взяти значення a_o постійним”

[2, с. 17]. Тоді п'ятий член $\frac{V^2}{g} da_o$ у рівнянні (1) випаде. Отож, у випадку тільки від'єднання маси, тобто для РТ рівняння (1) запишеться так:

$$d\left(\frac{a_o V^2}{2g}\right) + \frac{dp}{rg} + dz + i_f dx + \frac{a_o(v \cos j - V) \cdot V}{g} \frac{dQ}{Q} = 0. \quad (2)$$

Для циліндричного РТ, коли $w = const$, $Q = wV$, $dQ = w dV$ останнє спрощується до такого вигляду:

$$\frac{a_o(v \cos j - 2V) \cdot dV}{g} + \frac{dp}{rg} + \sin \gamma \cdot dx + dh_x = 0. \quad (3)$$

У рівняннях (1)–(3) не враховується гідродинамічний тиск зовнішнього потоку рідини. На практиці зустрічається робота РТ, прокладеного у потоці рідини, що його омиває. Наприклад, розосереджене випускання очищених стоків у ріку [3; 4]. Проф. А. І. Єгоров вказує, що неповне врахування конструкційних параметрів перфорованого трубопроводу та гідродинамічних особливостей потоку змінної маси супроводжується серйозними прорахунками під час проектування РТ, які спричиняють зниження ефективності роботи РТ [5, с. 3].

Мета роботи – для підвищення точності розрахунку напірних РТ увести у ДРРРЗМ компоненту гідродинамічного тиску зовнішнього потоку рідини.

Доповнення ДРРРЗМ (3). Г. А. Петров вважає, що рух рідини у місцях розгалуження є доволі складним явищем і не усі його елементи можуть бути враховані [2, с. 55]. Тим більше розв'язати поставлену задачу точними методами гідромеханіки поки що не уявляється можливим [2, с. 44–45]. За сучасного стану гідравліки визначити наперед закон зміни коефіцієнта a_o також не є можливим [2, с. 17]. До того ж коректив a'_o , який враховує нерівномірність розподілу швидкостей по живому перерізу струменя, що відділяється, загалом може відрізнятись від коректива a_o для основного потоку. Окрім тогою, на ділянці розгалуження діє реакція R_o стінки, протилежної до вихідного отвору. Реакція R_o перпендикулярна до цієї стінки, а її проекція на вісь основного потоку може бути прийнята такою, що дорівнює нулю [2, с. 47]. Г. А. Петров виділяє також силу S , яка заміняє дію відкиненої частини струменя, що від'єднується [2, с. 47–52]. Він виражає її через тиск p_1 у розрахунковому перерізі відкиненої частини струменя: $S = p_1 w_o$. Прийmemo, що $p_1 = p_{out}$, де p_{out} – гідродинамічний тиск зовнішнього потоку рідини. Тоді

$$dS = -p_{out} \frac{dQ}{v}, \quad (4)$$

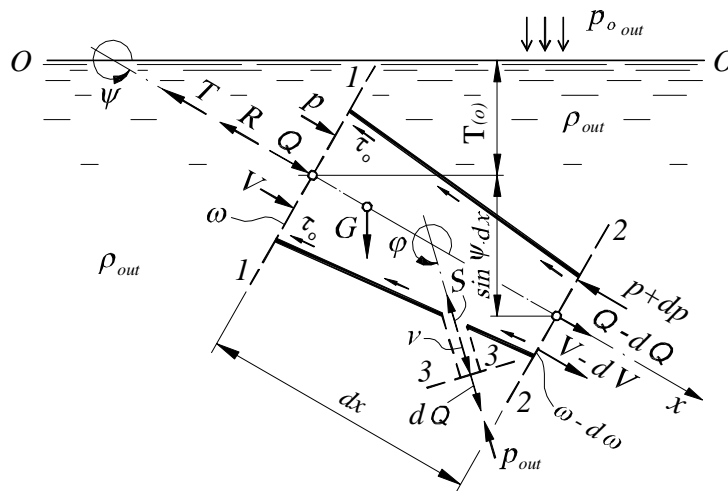
де dQ/v – площа поперечного перерізу струменя, що від'єднується; оскільки витрата основного потоку рідини усередині РТ зменшується у напрямку течії, то знак мінус ураховує від'ємне значення її похідної dQ .

Зобразимо розрахункову схему розподільного трубопроводу, що звужується (рисунок). Для нескінченно короткої ділянки dx потоку в РТ з урахуванням сили dS (4), яка заміняє дію відкиненої у перерізі 3-3 частини струменя, що від'єднується, запишемо гідравлічне рівняння зміни кількості руху за алгоритмом, поданим проф. Ю. М. Константиновим для трубопроводів-збирачів у [6, с. 122–124]:

$$a_0 r(Q - dQ)(V - dV) + a_0 r dQ v \cos j - a_0 r Q V = r w - (p + dp)(w - dw) - \left(p + \frac{dp}{2}\right) dw - p_{out} \frac{dQ}{v} \cos j - r g \left(w - \frac{dw}{2}\right) \sin y \cdot dx - r g \left(w - \frac{dw}{2}\right) dh_x, \quad (5)$$

де у рівнянні (5) подано проекції на вісь x розподільного трубопроводу таких величин:

$a_0 r Q V$ – кількість руху потоку рідини у розрахунковому перерізі 1-1; $a_0 r(Q - dQ)(V - dV)$ – те саме, у перерізі 2-2; де V і Q – середня швидкість і витрата потоку в перерізі 1-1; v і dQ – те саме, струменя, що від'єднується (рис. 1); $a_0 r dQ v \cos j$ – кількість руху струменя, що від'єднується; j – кут між напрямками руху основного потоку рідини усередині РТ (уздовж осі x) і струменя, що від'єднується; $r w$ – імпульс сили гідродинамічного тиску у перерізі 1-1; $(p + dp)(w - dw)$ – те саме, у перерізі 2-2; dp – зміна тиску на ділянці потоку між перерізами 1-1 і 2-2; dw – зміна площі живого перерізу потоку рідини на цій самій ділянці; $(p + dp/2)dw$ – поздовжня складова імпульсу сили реакції R стінок труби, що звужується, на ділянці потоку між перерізами 1-1 і 2-2, $R = \frac{p + (p + dp)}{2} dw = \left(p + \frac{dp}{2}\right) dw$; $p_{out} \frac{dQ}{v} \cos j$ – імпульс сили, яка заміняє дію відкиненої частини струменя, p_{out} – гідродинамічний тиск зовнішнього потоку рідини у перерізі 3-3; $r g \left(w - \frac{dw}{2}\right) \sin y \cdot dx$ – імпульс сили власної ваги G відсіку потоку завдовжки dx ; знак мінус перед цим доданком у рівнянні (5) автоматично узгоджує напрям проекції імпульсу сили G з напрямом осі потоку x за змінювання кута y у межах $0^\circ \dots 360^\circ$; $r g \left(w - \frac{dw}{2}\right) dh_x$ – імпульс сили тертя T , $T = t_o \left(c + \frac{dc}{2}\right) dx = r g \left(R + \frac{dR}{2}\right) \left(c + \frac{dc}{2}\right) \frac{dh_x}{dx} dx = r g \left(w - \frac{dw}{2}\right) dh_x$, де t_o – середнє напруження тертя на стінці РТ, $t_o = r g R \frac{dh_x}{dx}$ [6, с. 76]; R – гідравлічний радіус; $c = w/R$ – змочений периметр потоку. Кути j та y відрховуються проти годинникової стрілки (рисунок), а їхні значення змінюються від 0° до 360° .



Розрахункова схема напірного потоку з відділенням маси

Розв'язуючи рівняння (5), нехтуємо нескінченно малими величинами другого порядку. Одержано диференціальне рівняння руху рідини зі шляховою роздачею маси з урахуванням сили dS (4), яка заміняє дію відкиненої частини струменя, що від'єднується:

$$\frac{a_0(2n \cos j - V) \cdot V}{g} \cdot \frac{dQ}{Q} - \frac{a_0 V dV}{g} + d \frac{p}{rg} - \frac{p_{out}}{rg} \frac{dV}{v} \cos j + \sin y \cdot dx + dh_x = 0. \quad (6)$$

Для труб постійного поперечного перерізу, коли $w = const$, а $dQ = wdV$, рівняння (6) набуде такого вигляду:

$$\frac{a_0(n \cos j - 2V)dV}{g} + d \frac{p}{rg} - \frac{p_{out}}{rg} \frac{dV}{v} \cos j + \sin y \cdot dx + dh_x = 0. \quad (7)$$

У рівняннях (6) і (7) сила S врахована доданком $\frac{p_{out}}{rg} \frac{dV}{v} \cos j$. У попередній роботі [7] сила

S визначалась тиском на плоску стінку від'єднуваного струменя, направленою зі швидкістю v , нормально до стінки.

За методом, поданим у роботі [7], змінні V , dV , v , dp , p_{out} , dh_x , dx у рівнянні (7) виражено через повний робочий напір $H_{(x)}$, під дією якого витікають струмені, і через незалежну змінну відстань x . Отримано нелінійне інтегро-диференціальне рівняння напірного руху рідини з дискретною шляховою роздачею маси для нахилених до обр'ю циліндричних РТ стосовно невідомої функції $H_{(x)}$:

$$\frac{l}{2gw^2D} d \left[I_{(x)} \left(Q_0 - b \int_0^x H_{(x)}^{1/2} dx \right)^2 \right] + \frac{2a_0 + a \cos j}{gw^2} \left(Q_0 - b \int_0^x H_{(x)}^{1/2} dx \right) b H_{(x)}^{1/2} dx - \frac{a_0 ab \cos j}{gw} H_{(x)} dx + \quad (8)$$

$$+ dH_{(x)} + \left(2 - \frac{r_{out}}{r} \right) \sin y \cdot dx + \frac{b \cos j}{aw} \left[\frac{p_{out}}{rg} + \frac{r_{out}}{r} \left(T_{(0)} - \sin y \cdot x + \frac{aV_{out}^2}{2g} \cos x \right) \right] dx = 0.$$

Гідродинамічний тиск зовнішнього потоку рідини враховано у рівнянні (8) членом

$$\frac{b \cos j}{aw} \left[\frac{p_{out}}{rg} + \frac{r_{out}}{r} \left(T_{(0)} - \sin y \cdot x + \frac{aV_{out}^2}{2g} \cos x \right) \right] dx,$$

де $a = j \sqrt{2g}$; $b = n m w_{hole} \sqrt{2g}$; r – густина рідини усередині РТ; r_{out} – те саме, зовні РТ; $T_{(0)}$ – глибина занурення осі РТ на початку розрахункової ділянки за $x=0$ (див. рисунок); x – кут між векторами швидкостей від'єднуваного струменя $\vec{v}_{(x)}$ та зовнішнього потоку \vec{V}_{out} .

Методом, запропонованим у [7], рівняння (8) розв'язано для ламінарного режиму руху та для усіх трьох ділянок гідравлічного опору турбулентного режиму течії рідини. Отримані розрахункові залежності підтверджені експериментально. На відміну від відомих методик розрахунку РТ вони дають змогу враховувати гідродинамічний тиск зовнішнього потоку рідини. Цим підвищується точність проектування РТ.

Висновки. З метою підвищення точності розрахунку розподільних трубопроводів у диференціальному рівнянні руху рідини змінної для напірних РТ враховано гідродинамічний тиск потоку рідини, що омиває РТ ззовні.

1. Навоян Х. А. *Примеры гидравлических расчётов водопропускных сооружений.* – К.: Будівельник, 1975. – 148 с. 2. Петров Г. А. *Гидравлика переменной массы (Движение жидкости с изменением расхода вдоль пути).* – Харьков: ХГУ. – 1964. – 224 с. 3. Егоров А. И. *Гидравлика напорных трубчатых систем в водопроводных очистных сооружениях.* – М.: Стройиздат, 1984. – 95 с. 4. А. с. 1756483 СССР, МКИ Е 03F 1/00, 5/12. *Устройство для выпуска сточных вод /*

Б.Ф. Левицкий, В.В. Чернюк (СССР).– № 4806326/29; Заявлено 30.03.90; Опубл. 23.08.92, Бюл. № 31.– 4 с. 5. Чернюк В. Водовитуск періодичної дії // IV naukowa konferencja Rzeszowsko-Lwowska "Problemy budownictwa i inzynierii srodowiska". Cz. II. Inzynieria Srodowiska. – Rzeszow, 1995. – S. 9–14. 6. Константинов Ю. М. Гидравлика: Учебник.– К.: Вища шк., 1988. – 398 с. 7. Чернюк В. В. Метод розрахунку напірних розподільчих трубопроводів // Прикладна гідромеханіка (Ін-т гідромеханіки НАН України, Київ).– 2008.– Т. 10 (82), № 3.– С. 65–76.

УДК 624.016

Э.Д. Чихладзе, М.А. Веревичева, Л.Б. Кравцив

Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, г. Харьков

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО И ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЙ СТАЛЕБЕТОННОЙ КВАДРАТНОЙ КОЛОННЫ ПРИ СИЛОВЫХ И ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

ã Чихладзе Э.Д., Веревичева М.А., Кравцив Л.Б., 2010

Розглянуто сталобетонна колона квадратного перерізу під дією рівномірно розподіленого вертикального навантаження, власної ваги та інтенсивного температурного впливу. Для оцінки напружено-деформованого стану (НДС) колони розкрито контакт між бетонним ядром і сталеву обіймою. Як невідомі приймаються сили контактної взаємодії. НДС колони досліджено з урахуванням зміни модуля пружності й коефіцієнта поперечної деформації бетону залежно від рівня напруженого стану й температури в точці. Отримано замкнену систему диференціальних рівнянь для визначення НДС.

Ключові слова: сталобетонна колона, розподілене навантаження, температурний вплив, контактні сили.

The steel-concrete square column under the vertical distribute influences, the own weight and intensive thermal action is considered. For the estimate of the strained – stress state of the column is considered the contact between the concrete core and steel tube. In the capacity of unknown quantity we take the contact forces. The strained – stress state of the column is investigated with the taking into account the dependence of the modulus of elasticity and the Poisson's ratio of the level of strained – stress state and of the temperature at the point. The differential equation system for determination strained – stress state was obtained.

Keywords: steel-concrete column, distribute influences, thermal action, contact forces.

Введение. Настоящая работа, в которой рассматривается сталобетонная колонна квадратного сечения, является продолжением работ [1 – 7], посвященных изучению несущей способности сталобетонных конструкций с учетом нелинейности характеристик бетона и температурных воздействий. Эта задача, как и предыдущая, является актуальной в силу ряда причин: сталобетонные конструкции экономически выгодны; наличие стальной обжимающей обоймы обеспечивает повышение прочности бетона [1, 8]; с теоретической точки зрения, экспериментальные результаты [8, 9] требуют подтверждения и обоснования. Кроме этого, имеется ряд задач, не исследованных в полной мере, таких как обеспечение огнестойкости конструкций.

Постановка задачи. Рассматривается бетонная колонна квадратного сечения, заключенная в стальную обойму. Конструкция находится под действием равномерно распределенной нагрузки q , собственного веса и равномерного по высоте перепада температур T_f (рис. 1, а). Нагрузка может