

532
к.90

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЗМІСТУ І МЕТОДІВ НАВЧАННЯ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

В. Р. Кулінченко, І. К. Мотуз

**ГІДРАВЛІКА ТА ГІДРАВЛІЧНІ МАШИНИ
В РОЗРАХУНКАХ І КОНСТРУЮВАННІ**

Київ 1996

УДК 621.65:621.51:621.63:621,82/075.8/:532/075.8/:532/5.01/

Кулінченко В.Р., Мотуз І.К. Гідравліка та гідравлічні машини в розрахунках і конструюванні: Навч. посібник. - К.: ІЗМН, 1996. - 624 с.

Викладено основи гідравліки, коротко розглянуто будову та робочі процеси в гідравлічних машинах і гідроприводах. Поруч із сучасним методичним матеріалом подано приклади розрахунків з їх розв'язанням, які з достатньою повнотою розкривають суть основних розділів курсу. Користуючись пропонованим розрахунковим і табличним матеріалом, можна виконувати проектно-конструкторські роботи і кваліфіковано добирати необхідне гідрообладнання та машини.

Посібник розрахований на студентів усіх форм навчання інженерно-технічних та енергетичних спеціальностей вузів.

Табл. 92. Рис. 509. Бібліогр.: II назв.

Рецензенти: В.Г.Белік, канд.техн.наук, доц. /УкрНДІпродмаш/
В.О.Штангеев, канд.техн.наук, доц. /НВО "Цукор"/

ISBN 5-7763-9445-7

© В.Р.Кулінченко,
І.К.Мотуз, 1996

Навчальне видання
Кулінченко Віталій Романович
Мотуз Ігор Костянтинович
Гідравліка та гідравлічні машини
в розрахунках і конструюванні
Навчальний посібник

Редактор Т.О.Суворова
Коректори: Д.В.Ткаченко
С.А.Невзгляд

Підп. до друку 17.12.96 Формат 60×84¹/₁₆. Папір
друк. № 3 Друк офсетний. Умовн. друк. арк. 36,27
Умовн. фарбо-відб. 36,38 Облік-вид. арк. 31,99
Тираж 1500 Зам. № 6-1928.

ІЗМН. 252070, Київ-70, вул. П.Сагайдачного, 37

Фірма «ВІПОЛ».
252151, Київ, вул. Волинська, 60.

ПЕРЕДМОВА

Важливим показником технічного рівня машини і апарата є їхні розміри, інтенсивність і надійність роботи, якість продукції в металургійній, енергетичній, нафтопереробній, хімічній, харчовій та інших галузях промисловості, які мають справу з виробами із полімерів, гідроекструзією, нанесенням покриттів на різні поверхні, і у значному ступені визначаються гідростатодинамічними процесами й обладнанням для їх здійснення. Значно поліпшити зазначені показники дозволяє науково обгрунтований розрахунок.

Необхідно зазначити, що безпосереднє використання у студентсько-інженерній практиці багатьох наукових досягнень гідравліки утруднено. Це пояснюється тим, що наукова інформація носить вузько спеціалізований характер, базуючись часто на різних підходах. Значна роздробленість матеріалів по різних джерелах не дозволяє швидко орієнтуватися при розв'язанні практичних задач. Зважаючи на це, у посібнику, розрахованому, головним чином, на студентів, узагальнено й подано задачі з поступовим їх ускладненням. До всіх задач наведено відповіді, а до переважаючої більшості – повне розв'язання.

Систематизовано основні положення гідравліки реальної рідини, якими необхідно оволодіти студентам для подальшого застосування в інженерній практиці при розрахунках технологічних машин і апаратів. Розглянуті практичні задачі з використанням основних законів гідравліки розв'язуються часто у різних галузях техніки.

Всі одиниці подано в СІ. Додатки включають у себе довідковий матеріал, що необхідний для розв'язання задач.

Задача 2.6-258. Визначити критичну швидкість у трубі діаметром 150 мм для кондитерської помади з відносною густиною 1,2 і в'язкістю 0,35 П.

Відповідь: $v_{кр} = 1,1$ м/с.

Задача 2.6-259. Трубопроводом діаметром 100 мм транспортується нафта $\nu = 8,1 \cdot 10^{-6}$ м²/с. Визначити критичну швидкість, що відповідає зміні ламінарного режиму руху на турбулентний.

Відповідь: $v_{кр} = 0,186$ м/с.

Задача 2.6-260. Сумарні витрати поверхневого конденсатора парової турбіни по охолодній воді становлять $Q = 8$ л/с. Уся вода проходить крізь 250 паралельно розмішених трубок. Який максимально допустимий діаметр трубок, за якого в них ще відбувається турбулентний режим руху? Для нижньої межі турбулентного режиму прийняти $Re_{кр} = 3000$. Температура води 10 °С.

Відповідь: $d_{max} = 10$ мм.

Розділ 3. ГІДРАВЛІЧНІ ОПОРИ ТА РОЗПОДІЛ ШВИДКОСТЕЙ ЗА ПЕРЕРІЗОМ ПОТОКУ

3.1. Втрати напору на тертя за довжиною трубопроводу

Рівномірний рух рідини спостерігається тоді, коли живий переріз за довжиною потоку залишається сталим /наприклад, при напірному русі у трубах постійного діаметра/. За рівномірного руху у трубах втрати напору на тертя h_f як за ламінарного, так і за турбулентного руху визначаються за формулою Дарсі - Вейсбаха

$$h_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}, \quad (3.1)$$

а для труб довільної, відмінної від кругової, форми перерізу - за формулою

$$h_f = \lambda \frac{l}{4R} \frac{v^2}{2g} = \lambda \frac{l}{d_e} \frac{v^2}{2g}. \quad (3.2)$$

У деяких випадках використовують формулу

$$h_f = \frac{v^2}{C^2 R} l. \quad (3.3)$$

Втрати тиску на тертя за довжиною визначаються з формули

$$\Delta P_e = \lambda \frac{L}{d_e} \rho \frac{v^2}{2} \quad /3.4/$$

У цих формулах: λ - коефіцієнт гідравлічного тертя; L, d, v, ρ , d_e - відповідно довжина труби чи каналу, діаметр труби, середня швидкість потоку, гідравлічний радіус і еквівалентний діаметр; C - коефіцієнт Шезі, зв'язаний з коефіцієнтом гідравлічного тертя λ залежністю

$$C = \sqrt{8g/\lambda} ; \lambda = 8 \frac{g}{C^2} \quad /3.5/$$

Одиниця коефіцієнта Шезі метр у степені $1/2$, поділений на секунду ($m^{1/2}/s$). Зв'язок між коефіцієнтами λ і C поданий у табл. Д.12.

Коефіцієнт гідравлічного тертя λ враховує вплив на втрату напору за довжиною трубопроводу всіх чинників, найважливішими з яких є в'язкість рідини і стан стінок труби. Для ламінарного та турбулентного режимів руху застосовуються різні формули для визначення коефіцієнта гідравлічного тертя.

Ламінарний режим руху. За ламінарної течії у круглих трубах коефіцієнт гідравлічного тертя розраховується за формулою Пуазейля

$$\lambda = \frac{64}{Re} , \quad /3.6/$$

а для труб довільної некруглої форми -

$$\lambda = \frac{A}{Re_e} , \quad /3.7/$$

де A - коефіцієнт, числові значення якого залежать від форми поперечного перерізу труби, а число Рейнольдса визначається за формулою

$$Re_e = \frac{v \cdot d_e}{\nu} , \quad /3.8/$$

де $d_e = 4R = 4F/x$.

Значення коефіцієнта форми A і еквівалентного діаметра d_e для труб з різною формою поперечного перерізу подані у табл. Д.13.

Втрати напору і тиску можна також визначати за формулами Пуазейля:

$$h_e = 32 \nu \ell v / g \ell^2 = 128 \nu \ell Q / \pi g d^4, \quad /3.9/$$

$$\Delta p_e = 128 \rho \nu \ell Q / \pi d^4 \quad /3.10/$$

За ламінарного руху через малий кільцевий зазор $\delta \ll D$, утворений поверхнями циліндрів /рис. 3.1/, витрати рідини Q і перепад тисків $\Delta p_e = p_1 - p_2$ зв'язані між собою співвідношенням

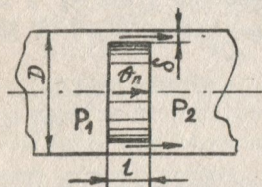


Рис. 3.1. Кільцевий зазор

$$Q = \pi D \left[\frac{\delta^3}{12 \mu \ell} (p_1 - p_2) / (1 + 1.5 \epsilon^2) \pm \frac{v_n \delta}{2} \right], \quad /3.11/$$

де D - діаметр зовнішнього циліндра; δ - величина зазору; v_n - швидкість руху поршня; $\epsilon = \frac{e}{\delta}$ - відносний ексцентриситет; e - відстань між осями циліндрів.

Знак "+" біля останнього доданка ставить-ся тоді, коли поршень рухається назустріч потоку рідини. В окремому випадку, коли $v_n = 0$ /поршень нерухомий/ і $\epsilon = 0$ /зазор концентричний/:

$$Q = \pi D \delta^3 (p_1 - p_2) / 12 \mu \ell; \quad /3.12/$$

$$\Delta p_e = 12 \mu \ell Q / \pi D \delta^3. \quad /3.13/$$

Турбулентний режим руху. За турбулентної течії у напірних трубах круглого поперечного перерізу коефіцієнт гідравлічного тертя λ залежить від числа Рейнольдса і відносної шорсткості:

$$\bar{\Delta} = \Delta / d, \quad /3.14/$$

де Δ - еквівалентна рівномірно-зерниста абсолютна шорсткість.

Під еквівалентною рівномірно-зернистою шорсткістю розуміємо таку висоту виступів шорсткості, яка дає при розрахунках однакову із заданою шорсткістю величину λ . Значення Δ подані у табл. Д.14.

У разі турбулентного руху рідини розрізняють три області гідравлічних опорів - гідравлічно гладких труб, перехідну та квадратичну.

Для області гідравлічно гладких труб коефіцієнт гідравлічного тертя визначається за формулами
Конакова

$$\lambda = (1,8 \lg Re - 1,5)^{-2} \quad /3.15/$$

та Блазіуса

$$\lambda = 0,3164 / Re^{0,25} \quad /3.16/$$

Значення коефіцієнта гідравлічного тертя λ , розраховані за формулою /3.16/, подані у табл. Д.15.

Область гідравлічно гладких труб спостерігається за умови $3000 < Re < 20/\bar{\Delta}$.

У перехідній області $20/\bar{\Delta} < Re < 500/\bar{\Delta}$ коефіцієнт гідравлічного тертя можна визначати за формулами
Кольбрука - Уайта

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{\bar{\Delta}}{37d} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right) \quad /3.17/$$

та Альтшуля

$$\lambda = 0,11(\bar{\Delta} + 68/Re)^{0,25} \quad /3.18/$$

Значення λ , розраховані за формулою /3.18/, подані у табл. Д.16.

У квадратичній області гідравлічних опорів $Re > 500/\bar{\Delta}$ /область гідравлічно шорстких труб/ коефіцієнт λ визначається з формул
Нікурадзе - Прадтля

$$\lambda = (2 \lg \frac{d}{\bar{\Delta}} + 1,74)^{-2} \quad /3.19/$$

та Шіфрінсона

$$\lambda = 0,11 \bar{\Delta}^{0,25} \quad /3.20/$$

Значення λ , розраховані за формулою /3.20/, подані у табл. Д.17.

Для визначення коефіцієнтів гідравлічного тертя для труб не круглого поперечного перерізу можна використовувати подані вище формули, підставляючи в них, як лінійний розмір, еквівалентний діаметр чи учетверений гідравлічний радіус. Розраховані за цими формулами λ підставляємо у формулу /3.2/ для визначення втрат напору за довжиною.

3.2. Розподіл швидкостей за перерізом потоку

Ламінарний режим руху. Розподіл швидкостей за поперечним перерізом круглої труби підпорядковується параболічному закону і описується формулою Стокса

$$u = \frac{g_i}{4\nu} (r_0^2 - r^2) = \frac{g h_e}{4\nu l} (r_0^2 - r^2), \quad /3.21/$$

де $i = h_e/l$ - гідравлічний уклон.

Відношення місцевої швидкості до максимальної описується формулою

$$\frac{u}{u_{max}} = \frac{y}{r_0} \left(2 - \frac{y}{r_0} \right). \quad /3.22/$$

Відношення середньої швидкості до максимальної

$$v/u_{max} = 0,5. \quad /3.23/$$

Коефіцієнт нерівномірності розподілу швидкостей за перерізом $\alpha = 2$.

Турбулентний режим руху. У напірних трубопроводах круглого перерізу розподіл швидкостей за перерізом труби описується формулами.

$$\frac{u}{u_{max}} = 1 - 2\lg \frac{r_0/y}{0,975/\sqrt{\lambda} + 1,35}; \quad /3.24/$$

$$\frac{u}{u_{max}} = \left(\frac{y}{r_0} \right)^{0,9\sqrt{\lambda}} = \left(1 - \frac{r}{r_0} \right)^{0,9\sqrt{\lambda}}. \quad /3.25/$$

де u - осереднена місцева швидкість на відстані y від стінки труби; u_{max} - швидкість по осі труби; r_0 - радіус труби; r - відстань від осі труби до шару рідини, який розглядаємо.

Для приблизних розрахунків використовують формулу Прандтля /закон одної сьомої/

$$\frac{u}{u_{max}} = \left(\frac{y}{r_0} \right)^{1/7}, \quad /3.26/$$

що відповідає значенню $\lambda = 0,03$ у формулі /3.25/.

Відношення середньої швидкості до максимальної підпорядковується залежності

$$v/u_{max} = (1 + 1,35\sqrt{\lambda})^{-1}. \quad /3.27/$$

Шар, швидкість якого дорівнює середній швидкості течії, знаходиться у трубі на відстані від стінки

$$y_v = 0,223 r_0 . \quad /3.28/$$

Коефіцієнт Коріоліса, який входить у рівняння Бернуллі, визначається з формули

$$\alpha = 1 + 2,65 \lambda , \quad /3.29/$$

яка за умови $\lambda = 0,025 \dots 0,03$ набуває вигляду

$$\alpha = 1,08 \dots 1,1 . \quad /3.30/$$

Значення U_{max}/v і α при різних λ подані у табл. д.18.

3.3. Стабілізаційна початкова ділянка

Параболічний розподіл швидкостей за ламінарного руху у круглих трубах настає не з самого початку труби, а на певній відстані від входу l_{cr} , що визначається з формули

$$l_{cr} = 0,029 d Re . \quad /3.31/$$

При турбулентному режимі течії початкова чи стабілізаційна ділянка, що діє у трьох зонах турбулентної течії, визначається з формули

$$l_{cr} = \frac{2,45}{\sqrt{\lambda}} d . \quad /3.32/$$

Усі подані вище залежності дійсні тільки для ізотермічного руху, за якого температура за перерізом потоку залишається постійною.

3.4. Вплив ПАР на зменшення втрат напору

Коефіцієнт гідравлічного тертя при русі води з добавками ПАР у трубах λ можна визначити за формулою

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left[\left(\frac{2,8 U_{pp}^*}{v \sqrt{\lambda}} \right)^{7/5} \left(\frac{2,5}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{\bar{\delta}}{3,7} \right) \right] , \quad /3.33/$$

де U_{pp}^* - гранична, або порогова динамічна, швидкість /залежить від природи ПАР/, при досягненні якої втрати напору починають змен-

щуватися; γ - коефіцієнт, що залежить як від природи ПАР, так і від його концентрації.

Наприклад, для поліакриламідру $U_{гп}^* \approx 0,05$ м/с, а γ визначають за емпіричною формулою /при 0,005% $< C < 0,012\%$ /

$$\gamma = 1000C, \quad /3.34/$$

де C - об'ємна концентрація полімера, %.

У разі відсутності полімера / $C = 0$; $\gamma = 0$ / формула /3.33/ перетворюється на формулу Кольбрука - Уайта для течії рідин без ПАР.

3.5. Задачі до розділу

Задача 3.5-26I. Визначити втрати тиску на тертя Δp_e у сталевій трубі круглого, квадратного і трикутного /рівносторонній трикутник/ перерізів за однакових довжиною, площею живого перерізу труб і швидкістю руху води. Довжина труби $l = 100$ м, площа живого перерізу $F = 0,03$ м², швидкість руху води $v = 10$ м/с, температура води 20 °С.

Розв'язання. Визначаємо еквівалентні діаметри труб

$$d_e^{\circ} = 4 \frac{\pi d^2}{4\pi d} = d,$$

$$d_e^{\square} = 4 \frac{a^2}{4a} = a$$

/ a - сторона квадрата/;

$$d_e^{\Delta} = 4 \frac{\delta^2 \sqrt{3}}{4 \cdot 3\delta} = \frac{\delta}{\sqrt{3}}$$

/ δ - сторона трикутника/.

Визначаємо величини d, a, δ і значення еквівалентних діаметрів:

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,03}{3,14}} = 0,196 \text{ м}, \quad d_e^{\circ} = 0,196 \text{ м};$$

$$a = \sqrt{F} = \sqrt{0,03} = 0,174 \text{ м}, \quad d_e^{\square} = 0,174 \text{ м};$$

$$\delta = \sqrt{\frac{4F}{\sqrt{3}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,03}{3}} = 0,264 \text{ м}, \quad d_e^{\Delta} = \frac{\delta}{\sqrt{3}} = \frac{0,264}{\sqrt{3}} = 0,152 \text{ м}.$$

Визначаємо числа Рейнольдса при $\Delta = 0,05$ мм /табл. Д.14/
 $\nu = 1,01 \cdot 10^{-6}$ м²/ /табл. Д.5/ і відповідну відносну шерсткість:

$$Re_o = \frac{v d_e^o}{\nu} = \frac{10 \cdot 0,196}{1,01 \cdot 10^{-6}} \approx 19,6 \cdot 10^5,$$

$$\bar{\Delta}_o = \frac{\Delta}{d_e^o} = \frac{5 \cdot 10^{-5}}{0,196} = 25,4 \cdot 10^{-5},$$

$$Re_{\square} = \frac{v d_e^{\square}}{\nu} = \frac{10 \cdot 0,174}{1,01 \cdot 10^{-6}} \approx 17,4 \cdot 10^5,$$

$$\bar{\Delta}_{\square} = \frac{5 \cdot 10^{-5}}{0,174} = 28,7 \cdot 10^{-5};$$

$$Re_{\Delta} = \frac{v d_e^{\Delta}}{\nu} = \frac{10 \cdot 0,152}{1,01 \cdot 10^{-6}} \approx 15,2 \cdot 10^5,$$

$$\bar{\Delta}_{\Delta} = \frac{5 \cdot 10^{-5}}{0,152} = 33 \cdot 10^{-5}.$$

Визначаємо аналоги числа Рейнольдса

$$Re_{r\lambda}^o = 20/\bar{\Delta}_o = 20/25,4 \cdot 10^{-5} = 78740,$$

$$Re_{\kappa\beta}^o = 500/\bar{\Delta}_o = \frac{500}{25,4 \cdot 10^{-5}} = 1,97 \cdot 10^6;$$

$$Re_{r\lambda}^{\square} = 20/28,7 \cdot 10^{-5} = 69686,$$

$$Re_{\kappa\beta}^{\square} = 500/28,7 \cdot 10^{-5} = 1,74 \cdot 10^6;$$

$$Re_{r\lambda}^{\Delta} = 20/33 \cdot 10^{-5} = 60606,$$

$$Re_{\kappa\beta}^{\Delta} = 500/33 \cdot 10^{-5} = 1,52 \cdot 10^6.$$

Порівнюємо числа Рейнольдса з їх аналогами

$$Re_o \approx Re_{\kappa\beta}^o; Re_{\square} = Re_{\kappa\beta}^{\square}; Re_{\Delta} = Re_{\kappa\beta}^{\Delta}.$$

Виходячи з цих залежностей розрахунки виконуємо за формулою /3.20/ для квадратичної зони гідравлічних опорів:

$$\lambda_o = 0,11(\bar{\Delta}_o)^{0,25} = 0,11(25,4 \cdot 10^{-5})^{0,25} = 0,014;$$

$$\lambda_{\square} = 0,11(\bar{\Delta}_{\square})^{0,25} = 0,11(28,7 \cdot 10^{-5})^{0,25} = 0,0145;$$

$$\lambda_{\Delta} = 0,11(\bar{\Delta}_{\Delta})^{0,25} = 0,11(33 \cdot 10^{-5})^{0,25} = 0,015.$$

Втрати тиску на тертя при густині води $\rho = 998,2 \text{ кг/м}^3$
/табл. Д.І/ визначаємо за формулою /3.4/:

$$\Delta p_e^a = 0,014 \frac{100}{0,196} \cdot 998,2 \frac{10^2}{2} = 358000 \text{ Па};$$

$$\Delta p_e^a = 0,0145 \frac{100}{0,174} \cdot 998,2 \frac{10^2}{2} = 416000 \text{ Па};$$

$$\Delta p_e^a = 0,015 \frac{100}{0,152} \cdot 998,2 \frac{10^2}{2} = 493000 \text{ Па}.$$

Отже, у трубі квадратного перерізу втрати тиску в 1,16 рази більші, а в трубі трикутного перерізу в 1,38 рази більші, ніж у круглій трубі, за інших однакових умов.

Задача 3.5-262. Витрати води при температурі 10°C у горизонтальній трубі кільцевого перерізу, що утворений двома концентричними оцинкованими сталевими трубами з абсолютною шорсткістю $\Delta = 0,15 \text{ мм}$, $Q = 0,0075 \text{ м}^3/\text{с}$. Внутрішня труба має зовнішній діаметр $d = 0,075 \text{ м}$, а зовнішня труба має внутрішній діаметр $D = 0,1 \text{ м}$. Визначити втрати напора на тертя за довжиною каналу $l = 300 \text{ м}$.

Розв'язання. Площа живого перерізу кільцевої щілини

$$F = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) = \frac{3,14}{4} (0,1^2 - 0,075^2) = 0,0034 \text{ м}^2.$$

Змочений периметр живого перерізу

$$\chi = \pi (D + d) = 3,14 (0,1 + 0,075) = 0,55 \text{ м}.$$

Еквівалентний діаметр

$$d_e = 4F/\chi = 4 \cdot 0,0034 / 0,55 = 2,48 \cdot 10^{-2} \text{ м}.$$

Відносна шорсткість

$$\bar{\Delta} = \Delta / d_e = 1,5 \cdot 10^{-4} / 2,48 \cdot 10^{-2} = 0,0059.$$

Середня швидкість течії

$$v = Q/F = 0,0075 / 0,0034 = 2,2 \text{ м/с}.$$

Число Рейнольдса при $\nu = 1,31 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$

$$Re = v d_e / \nu = 2,2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-2} / 1,31 \cdot 10^{-6} = 42000.$$

Аналоги числа Рейнольдса

$$Re_{rn} = 20/\bar{\Delta} = 20/0,0059 = 3390;$$

$$Re_{\kappa B} = 500/\bar{\Delta} = 500/0,0059 = 84745.$$

Оскільки $Re_{гн} < Re < Re_{кв}$, розрахунок ведемо за формулою /3.13/:

$$\lambda = 0,11 \left(\bar{\Delta} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \left(0,0059 + \frac{68}{42000} \right)^{0,25} = 0,0284.$$

Втрати напору за довжиною кільцевого каналу визначаємо з формули /3.21/:

$$h_e = \lambda \frac{\ell}{d_e} \frac{v^2}{2g} = 0,0284 \frac{300 \cdot 2,2^2}{2,48 \cdot 10^{-2} \cdot 2 \cdot 9,81} = 84 \text{ м вод.ст.}$$

Задача 3.5-263. Вентиляційна труба діаметром $d = 100$ мм і довжиною $\ell = 100$ м має тиск на виході $p = p_{at} = 101$ кПа. Температура повітря 20°C . Місцеві опори за довжиною відсутні. Визначити тиск, що його створить вентилятор, при витратах повітря $Q = 0,078 \text{ м}^3/\text{с}$.

Розв'язання. Визначаємо середню швидкість повітря у трубі:

$$v = Q/F = 0,078 \cdot 4/3,14 \cdot 0,1^2 = 10 \text{ м/с.}$$

Число Рейнольдса для потоку повітря у трубі при $\nu = 15,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ /табл. Д.8/

$$Re = vd/\nu = 10 \cdot 0,1/15,7 \cdot 10^{-6} = 69000.$$

Визначаємо відносну шорсткість при $\Delta = 0,2$ мм /табл. Д.14/:

$$\bar{\Delta} = \Delta/d = 0,2/100 = 0,002.$$

Визначаємо зону підравлічного опору

$$20(\bar{\Delta} < Re < 500)\bar{\Delta}; \quad 20(0,002 < Re < 500)0,002; \quad 10000 < Re < 250000,$$

тобто λ визначається для доквадратичної зони за формулою

$$\lambda = 0,11 \left(\bar{\Delta} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \left(0,002 + 0,001 \right)^{0,25} = 0,0256.$$

З формули /3.14/ знаходимо втрати тиску на тертя при $\rho = 1,18 \text{ кг/м}^3$

$$\Delta p_\ell = \lambda \frac{\ell}{d} \rho \frac{v^2}{2} = 0,0256 \cdot \frac{100}{0,1} \cdot 1,18 \cdot \frac{10^2}{2} = 1,41 \text{ кПа.}$$

Тиск, створюваний вентилятором:

$$p = \Delta p_{at} + \Delta p_e = 101 + 1,41 = 102,41 \text{ кПа.}$$

Задача 3.5-264. Визначити витрати води у трубі прямокутного перерізу з відношенням сторін $a : b = 0,25$ і у круглій трубі такої самої площі поперечного перерізу $F = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$, якщо втрати тиску у цих трубах однакові ($\Delta p_e = 100 \text{ Па}$), а довжина кожної труби $l = 10 \text{ м}$. Температура води 20°C .

Розв'язання. Для труби круглого перерізу $d_e = d$, а для прямокутного перерізу за умови $a : b = 0,25$

$$d_e^4 = \frac{4ab}{2(a+b)} \cdot \frac{2ab}{a+b} = 1,6a^2,$$

при цьому еквівалентні діаметри відповідно

$$d_e^0 = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2 \cdot 10^{-4}}{3,14}} = 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ м;}$$

$$d_e^a = 1,6 \sqrt{\frac{F}{4}} = 1,6 \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{-4}}{4}} \approx 1,1 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

Втрати тиску визначаємо з формули /3.4/. Вважаємо, що режим течії ламінарний, тоді за формулою /3.7/ $\lambda = A/Re$, де значення коефіцієнта форми A /табл. Д.13/ для круглої труби 64, для прямокутних - 73. При цьому формула втрат тиску набуває вигляду

$$\Delta p_e = \frac{A}{Re} \frac{l}{d_e} \rho \frac{v^2}{2} = \frac{A \rho}{v d_e} \frac{l}{d_e} \rho \frac{v^2}{2} = \rho \frac{A l v}{2 d_e^2}$$

Для круглої труби при густині води $\rho = 998,2 \text{ кг/м}^3$ /табл. Д.1/ і в'язкості $\nu = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$

$$v_0 = \frac{2 \Delta p_e d_e^2}{\rho A l \nu} = \frac{2 \cdot 100 (1,6 \cdot 10^{-2})^2}{998,2 \cdot 64 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} = 0,08 \text{ м/с;}$$

для прямокутної

$$v_a = \frac{2 \cdot 100 (1,1 \cdot 10^{-2})^2}{998,2 \cdot 73 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} \approx 0,032 \text{ м/с.}$$

Визначаємо числа Рейнольдса:

$$Re_c = \nu d_e / \nu = 0,08 \cdot 1,6 \cdot 10^{-2} / 10^{-6} = 1280;$$

$$Re_{\square} = 0,032 \cdot 1,1 \cdot 10^{-2} / 10^{-6} = 350.$$

Оскільки числа Рейнольдса менші від критичного їх значення, що дорівнює 2320, режим руху - ламінарний, як і вважали.

Витрати води

$$Q_o = \nu_o F = 0,08 \cdot 2 \cdot 10^{-4} = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{\square} = \nu_{\square} F = 0,032 \cdot 2 \cdot 10^{-4} = 0,64 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Отже, за умов ламінарного руху при одній і тій самій площі живого перерізу і однакових втратах тиску кругла труба пропускає у 2,5 раза більше води, ніж труба прямокутного перерізу.

Задача 3.5-265. Як зміняться витрати мазуту при подачі його круглою трубою діаметром $d = 0,1$ м, довжиною $\ell = 100$ м, якщо втрати тиску $\Delta p_e = 200$ кПа, а температура мазуту збільшується від 20 до 37 °С. Трубопровід виконано з нових сталевих труб.

Розв'язання. При зміні температури від 20 до 37 °С кінематична в'язкість мазуту зменшується від 10^{-4} до $0,3 \cdot 10^{-4}$ м²/с, а густина змінюється незначно і її можна прийняти $\rho = 900$ кг/м³.

Швидкість течії визначаємо з формули /3.4/:

$$\nu = \sqrt{\frac{2 \Delta p_e}{\lambda \rho \ell / d}}$$

Вважаємо, що мазутопровід працює у зоні гладкого тертя, тоді

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{68 \nu}{d \nu} \right)^{0,25}$$

Підставимо отриманий вираз у попередню формулу для визначення середньої швидкості:

$$\nu = \sqrt{\frac{2 \Delta p_e d}{\rho \ell} \frac{\nu^{0,25}}{0,11 (68 \nu / d)^{0,25}}};$$

звідси

$$\nu^{0,875} = \sqrt{\frac{2 \Delta p_e d}{\rho \ell} \frac{1}{0,11}} \cdot \left(\frac{d}{68 \nu} \right)^{0,125}$$

Швидкість руху мазуту
при температурі 20 °C

$$v^{0,875} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 0,1}{900 \cdot 100 \cdot 0,11}} \left(\frac{0,1}{68 \cdot 10^{-4}} \right)^{0,125},$$

$$v = 3,3 \text{ м/с};$$

при температурі 37 °C

$$v^{0,875} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 0,1}{900 \cdot 100 \cdot 0,11}} \left(\frac{0,1}{68 \cdot 0,3 \cdot 10^{-4}} \right)^{0,125},$$

$$v = 3,86 \text{ м/с}.$$

Для визначення зони гідравлічного опору обчислюємо відносну шорсткість труби, числа й аналоги чисел Рейнольдса при $\Delta = 5 \cdot 10^{-5}$ /табл. Д.14/:

$$\bar{\Delta} = \Delta/d = 5 \cdot 10^{-5} / 10^{-1} = 5 \cdot 10^{-4};$$

при 20 °C

$$Re = \frac{vd}{\nu} = \frac{3,3 \cdot 0,1}{10^{-4}} = 3300,$$

$$Re_{гн} = \frac{20}{\bar{\Delta}} = \frac{20}{5 \cdot 10^{-4}} = 40000;$$

при 37 °C

$$Re = \frac{3,86 \cdot 0,1}{0,3 \cdot 10^{-4}} = 12890,$$

$$Re_{гн} = \frac{20}{5 \cdot 10^{-4}} = 40000.$$

Оскільки в обох випадках $Re < Re_{гн}$, трубопровід працює у зоні гладких труб.

Витрати мазуту:

при 20 °C

$$Q = vF = 3,3 \cdot 3,14 \cdot 0,1^2 / 4 = 0,0254 \text{ м}^3/\text{с};$$

при 37 °C

$$Q = vF = 3,86 \cdot 3,14 \cdot 0,1^2 / 4 = 0,0303 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Отже, при зміні температури мазуту від 20 до 37 °С його витрати збільшаться в 1,2 рази.

Задача 3.5-266. Визначити діаметр d нового сталевого трубопроводу довжиною $l = 1000$ м, який має пропускати $Q = 0,02$ м³/с при втратах тиску $\Delta p_e = 200$ кПа. Температура води 20 °С.

Розв'язання. Вважаємо, що трубопровід працює у квадратичній зоні гідравлічного опору, тоді

$$\lambda = 0,11(\bar{\Delta})^{0,25},$$

де $\Delta = 5 \cdot 10^{-5}$ м /табл. Д. І4/.

Середня швидкість за формулою 13.4/

$$v = \sqrt{\frac{2\Delta p_e d}{\lambda l \rho}}$$

Підставляємо в цю формулу вираз для λ і враховуємо, що витрати

$$Q = vF = \frac{v\pi d^2}{4},$$

дістаємо

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\frac{2\Delta p_e d^{1,15}}{0,11 \Delta^{0,25} \rho l}} = 0,785 \sqrt{\frac{2\Delta p_e}{0,11 \Delta^{0,25} \rho l}} \cdot d^{2,6}.$$

Для умов задачі при $\rho = 998,2$ кг/м³

$$0,02 = \sqrt{\frac{2 \cdot 2 \cdot 10^5}{0,11 (5 \cdot 10^{-5})^{0,25} \cdot 998,2 \cdot 1000}} \cdot d^{2,6}; \quad d = 0,15 \text{ м.}$$

Площа поперечного перерізу труби

$$F = \pi d^2 / 4 = 0,785 \cdot 0,15^2 = 0,0176 \text{ м}^2.$$

Швидкість у трубопроводі

$$v = Q/F = 0,02/0,0176 = 1,13 \text{ м/с.}$$

Число Рейнольдса при $\nu = 10^{-6}$ м²/с

$$Re = vd/\nu = 1,13 \cdot 0,15/10^{-6} = 1,17 \cdot 10^5.$$

При відносній шорсткості

$$\bar{\Delta} = \Delta/d = 5 \cdot 10^{-5}/0,15 = 3,3 \cdot 10^{-4};$$

$$Re_{rA} = 20/\bar{\Delta} = 20/(3,3 \cdot 10^{-4}) = 61000;$$

$$Re_{KB} = 500/3,3 \cdot 10^{-4} = 1500000,$$

тобто $Re_{гн} < Re < Re_{кр}$ Це дає підставу вважати, що трубопровід працює у доквадратичній зоні гідравлічних опорів, для якої

$$\lambda = 0,11 \left(\bar{\Delta} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} =$$

$$= 0,11 \left(3,3 \cdot 10^{-4} + \frac{68}{1,17 \cdot 10^5} \right)^{0,25} = 0,019.$$

Тоді

$$v = \sqrt{\frac{2\Delta p_2 d}{\lambda \rho l}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,15 \cdot 2 \cdot 10^5}{0,019 \cdot 1000 \cdot 998,2}} = 1,75 \text{ м/с};$$

$$F = Q/v = 0,02/1,75 = 0,0114 \text{ м}^2, \quad d = 0,12 \text{ м}.$$

Перевірка показує, що при $d = 0,12 \text{ м}$ і швидкості $1,75 \text{ м/с}$ трубопровід працює у доквадратичній /перехідній/ зоні опорів.

Вточніємо значення діаметра, для чого повторюємо розрахунок:

$$Re = vd / \nu = 1,75 \cdot 0,12 / 10^{-6} = 2,1 \cdot 10^5;$$

$$\bar{\Delta} = \Delta / d = 5 \cdot 10^{-5} / 0,12 = 41,6 \cdot 10^{-5};$$

$$Re_{гн} = 20 / (41,6 \cdot 10^{-5}) = 4,8 \cdot 10^4;$$

$$Re_{кр} = 500 / (41,6 \cdot 10^{-5}) = 1,2 \cdot 10^6;$$

$$Re_{гн} < Re < Re_{кр};$$

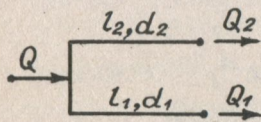
$$\lambda = 0,11 \left(\bar{\Delta} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \left(41,6 \cdot 10^{-5} + \frac{68}{2,1 \cdot 10^5} \right)^{0,25} = 0,018;$$

$$v = \sqrt{\frac{2\Delta p_2 d}{\lambda \rho l}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 0,15}{0,018 \cdot 1000 \cdot 998,2}} = 1,8 \text{ м/с};$$

$$F = Q/v = 0,02/1,8 = 0,0111 \text{ м}^2;$$

$$d = 0,118 \text{ м}.$$

Задача 3.5-267. Визначити витрати тиску Δp_2 у магістралях гідропередачі /див. рисунок/, якщо витрати рідини $Q_1 = 0,0001$, $Q_2 = 0,0002 \text{ м}^3/\text{с}$, діаметри трубопроводів $d_1 = 0,005 \text{ м}$, $d_2 = 0,01 \text{ м}$, довжини $l_1 = 1 \text{ м}$, $l_2 = 2 \text{ м}$, густина робочої рідини 900 кг/м^3 , кінематична в'язкість $\nu = 6,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$.



Розв'язання. Визначаємо числа Рейнольдса для кожної ланки системи, враховуючи, що швидкість

$$v = 4Q / \pi d^2$$

$$Re_1 = \frac{4Q_1}{\pi d_1 v} = \frac{4 \cdot 10^{-4}}{3,1415 \cdot 10^{-3} \cdot 6,5 \cdot 10^{-5}} = 390;$$

$$Re_2 = \frac{4Q_2}{\pi d_2 v} = \frac{4 \cdot 2 \cdot 10^{-4}}{3,14 \cdot 10^{-2} \cdot 6,5 \cdot 10^{-5}} = 390.$$

В обох трубопроводах режим руху ламінарний.
Коефіцієнт гідравлічного тертя

$$\lambda = 64 / Re = 64 / 390 = 0,164.$$

Втрати тиску у кожній ланці системи

$$\Delta p_{e1} = \lambda \frac{L_1}{d_1} \rho \frac{v_1^2}{2} =$$

$$= 0,164 \frac{1}{5 \cdot 10^{-3}} \cdot 900 \cdot \frac{16(10^{-4})^2}{3,14^2(5 \cdot 10^{-3})^4 \cdot 2} = 374000 \text{ Па};$$

$$\Delta p_{e2} = 0,164 \frac{2}{1 \cdot 10^{-2}} \cdot 900 \cdot \frac{16(2 \cdot 10^{-4})^2}{3,14^2(10^{-2})^4 \cdot 2} = 94000 \text{ Па}.$$

Задача 3.5-268. Визначити витрати води у трубі водопровідної мережі, що знаходиться в експлуатації, діаметром $d = 0,3$ м, якщо швидкість по осі труби $U_{max} = 4,5$ м/с, а температура води 10°C .

Розв'язання. Врахуємо, що рух води відбувається у квадратичній зоні гідравлічних опорів, для якої при $\Delta = 0,5$ мм /табл. Д.14/

$$\lambda = 0,11(\Delta/d)^{0,25} = 0,11(0,5/300)^{0,25} = 0,022.$$

При цьому відносна шорсткість

$$\bar{\Delta} = 0,5/300 = 1,67 \cdot 10^{-3}.$$

Середню швидкість розраховуємо за формулою /3.27/:

$$U_{max} / v = 1 + 1,35 \sqrt{\lambda} = 1 + 1,35 \sqrt{0,022} = 1,2;$$

$$v = 0,83 U_{max} = 0,83 \cdot 4,5 = 3,74 \text{ м/с}.$$

Визначаємо число Рейнольдса за умови $\nu = 1,31 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$

$$Re = \nu d / \nu = 3,74 \cdot 0,3 / 1,31 \cdot 10^{-6} = 8,5 \cdot 10^5.$$

Зона турбулентності

$$Re_{кр} = 500/\bar{\lambda} = 500/1,67 \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 10^5 < Re.$$

Отже, рух дійсно відбувається у квадратичній зоні підравляючого опору.

Витрати води

$$Q = \nu F = \frac{\pi d^2}{4} \nu = 3,14 \cdot 0,3^2 \cdot 3,74 / 4 = 0,26 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Задача 3.5-269. У двох точках кривого перерізу трубопроводу діаметром $d = 0,5 \text{ м}$ виміряється швидкість води: $U = 2,3 \text{ м/с}$ на відстані від стінки $y = 0,11 \text{ м}$ і $U_{max} = 2,6 \text{ м/с}$ на осі труби. Визначити втрати напору на тертя на 1 м довжини трубопроводу /лицомі втрати/.

Розв'язання. Визначаємо коефіцієнти підравляючого тертя з формули /3.25/:

$$U/U_{max} = (y/r_0)^{0,9\sqrt{\lambda}}$$

Прологарифмуємо вираз:

$$\lg(U/U_{max}) = 0,9\sqrt{\lambda} \lg(y/r_0);$$

звідси

$$\lambda = \left[\frac{\lg(U/U_{max})}{0,9 \lg(y/r_0)} \right]^2 = \left[\frac{\lg(2,3/2,6)}{0,9 \lg(0,11/0,25)} \right]^2 = 0,0286.$$

Середню швидкість визначаємо з формули /3.27/:

$$U_{max} / \nu = 1 + 1,35\sqrt{\lambda} = 1 + 1,35\sqrt{0,0286} = 1,228,$$

$$\nu = U_{max} / 1,228 = 2,6 / 1,228 = 2,11 \text{ м/с}.$$

Втрати напору на тертя на 1 м визначаємо за формулою Дарсі - Вейсбаха /3.1/:

$$h_f = \lambda l \nu^2 / 2gd =$$

$$= 0,0286 \cdot 1 \cdot 2,11^2 / 0,5 \cdot 2 \cdot 9,81 = 0,013 \text{ м}.$$

Задача 3.5-270. Визначити витік робочої рідини крізь радіальний зазор $\delta = 80 \text{ мм}$ /див. рис. 3.1/ між циліндром і нерухомим поршнем,

якщо тиск з одного боку поршня $p_1 = 4$ МПа, з другого - $p_2 = 0,5$ МПа, ширина поршня $l = 40$ мм, його діаметр $D = 60$ мм. Густина рідини 890 кг/м³, кінематична в'язкість $\nu = 30 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

Розв'язання. Визначаємо динамічну в'язкість

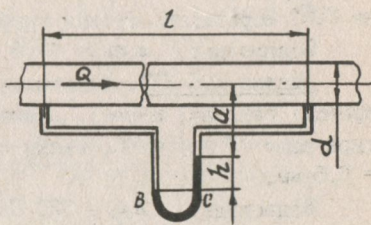
$$\mu = \nu \rho = 30 \cdot 10^{-6} \cdot 890 = 2,67 \cdot 10^{-2} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Для визначення витрат крізь кільцеву щілину використовуємо формулу /3.12/:

$$Q = \frac{\pi D \delta^3}{12 \mu l} (p_1 - p_2) = \frac{3,14 \cdot 0,06 (80 \cdot 10^{-6})^3}{12 \cdot 0,0267 \cdot 0,04} (4 - 0,5) \cdot 10^6 = 0,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}.$$

3.6. Задачі для самоконтролю

Задача 3.6-271. Трубопроводом діаметром $d = 12$ мм перекачується масло, $\rho = 890$ кг/м³, $\nu = 47 \cdot 10^{-6}$ м²/с. Визначити покази ртутного дифманометра h , що приєднаний до трубопроводу у двох точках на відстані $l = 3$ м. Витрати масла $Q = 0,3$ л/с /див. рисунок/.



Відповідь: $h_p = 0,59$ м.

Задача 3.6-272. Визначити втрати напору у трубі діаметром $d = 10$ мм на довжині l м для води й мазуту, якщо відомо, що в обох випадках $Re = 1000$, $v_B = 0,1$ м/с, $v_M = 1$ м/с.

Відповідь: $h_{e,B} = 3,26$ мм; $h_{e,M} = 294$ мм.

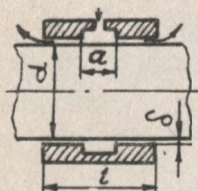
Задача 3.6-273. Визначити втрати напору у трубопроводі діаметром $d = 0,1$ м, довжиною $l = 500$ м, яким транспортується нафта в'язкості $\nu = 2,5 \cdot 10^{-4}$ м²/с. Різниця геометричних відміток трубопроводу складає 10 м. Витрати нафти $Q = 0,0012$ м³/с.

Відповідь: $h_e = 16,3$ м.

Задача 3.6-274. Визначити втрати напору на тертя за довжиною в новому сталевому трубопроводі шорсткостю $\Delta = 0,1$ мм, діамет-

ром $d = 0,2$ м і довжиною $l = 2000$ м, якщо по ньому подається вода у кількості $Q = 0,02$ м³/с, в'язкість $\nu = 10^{-6}$ м²/с.

Відповідь: $h_e = 4,16$ м.



Задача 3.6-275. Витрати масла ($\nu = 10$ мм²/с і $\rho = 895$ кг/м³), що підводиться до корінного підшипника колінчастого вала (див. рисунок) двигуна, $Q_0 = 20$ см³/с. Вважати режим руху ламінарним і нехтувати обертанням вала, визначити втрати тиску у підшипнику, якщо його довжина $L = 60$ мм, діаметр вала $d = 50$ мм, ширина кільцевої канавки $a = 6$ мм, радіальна кільцева щілина $\delta = 0,06$ мм.

Відповідь: $\Delta p_e = 852$ кПа.

Задача 2.6-276. Визначити втрати тиску на тертя у трубопроводі діаметром $d = 250$ мм і довжиною $l = 1,5$ км, яким перекачується бензин з $\rho = 700$ кг/м³ і $\nu = 0,75 \cdot 10^{-6}$ м²/с. Втрати бензину $Q_m = 65,5$ т/год. Як зміняться ці втрати при зменшенні діаметра труби на 20%? Шорсткість стінок трубопроводу прийняти $\Delta = 0,2$ мм.

Відповідь: $\Delta p_{e1} = 11,8$ кПа; $\Delta p_{e2} = 38$ кПа.

Задача 2.6-277. Визначити питоме лінійне падіння тиску у трубопроводі теплової мережі. Діаметр трубопроводу $d = 100$ мм, температура води $t = 150$ °С, швидкість $v = 2$ м/с, шорсткість труб $\Delta = 0,5$ мм.

Відповідь: $\Delta p_e = 720$ Па на 1 м трубопроводу.

Задача 3.6-278. Розв'язати задачу 3.6-277 за умови, що швидкість води $v = 0,2$ м/с.

Відповідь: $\Delta p_e = 5,7$ Па на 1 м трубопроводу.

Задача 3.6-279. Визначити втрати тиску у горизонтальному трубопроводі довжиною $l = 1$ км, яким транспортується нафта густиною $\rho = 900$ кг/м³ у кількості $Q = 31,4$ л/с. Діаметр трубопроводу $d = 200$ мм, коефіцієнт гідравлічного опору тертя $\lambda = 0,04$.

Відповідь: $\Delta p_e = 90$ кПа.

Задача 3.6-280. Визначити втрати тиску на тертя у змійовику, яким рухається вода в'язкістю $0,8$ сП зі швидкістю $v = 1$ м/с. Змійовик виконано з уже експлуатованих сталевих труб діаметром $d = 43$ мм, з абсолютною шорсткістю $\Delta = 0,25$ мм. Діаметр витка змійовика $D = 1$ м, число витків $n = 10$. Коефіцієнт збільшення втрат тиску від руху води по колу

$$k = 1 + 3,54 \frac{d}{D}$$

Відповідь: $\Delta p_e = 15900$ Па.

Задача 3.6-281. Визначити коефіцієнт опору тертя гідравлічно гладкого повітропроводу діаметром $d = 0,5$ м, довжиною $l = 500$ м при швидкості руху повітря $v = 10$ м/с, якщо $\nu = 2 \cdot 10^{-5}$ м²/с і $\rho = 1,2$ кг/м³.

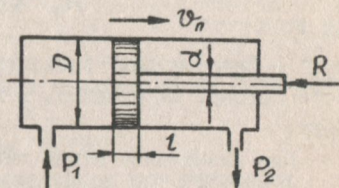
Відповідь: $\lambda = 0,0142$.

Задача 3.6-282. При транспортуванні бензину з $\rho = 700$ кг/м³ по трубі довжиною $l = 5,5$ м і діаметром $d = 15$ мм різниця тисків у трубопроводі $\Delta p_e = 0,11$ МПа. Вважаючи, що закон гідравлічних опорів квадратичний, визначити еквівалентну шорсткості труби Δ , якщо витрати $Q = 0,9$ л/с.

Відповідь: $\Delta = 0,12$ мм.

Задача 3.6-283. Робоча рідина - масло ІС-20 ($\nu = 20 \cdot 10^{-6}$ м²/с, $\rho = 850$ кг/м³) підводиться в поршкову порожнину гідроциліндра (див. рисунок/). Визначити тиск p_1 і витрати масла Q , за яких швидкість руху поршня $v_n = 2$ см/с, витік робочої рідини крізь кільцеву щілину $\delta =$

$= 60$ мкм між циліндром і поршнем $q = 5$ см³/с, діаметр поршня $D = 100$ мм, його ширина $l = 70$ мм, $p_2 = 80$ кПа. Яке діятиме зусилля на шток R , якщо його діаметр $d = 50$ мм? Тертям у гідроциліндрі знехтувати.



Відповідь: $Q = 1575$ см³/с; $p_1 = 1,22$ МПа; $R = 9,1$ кН.

Задача 3.6-284. Визначити граничне значення швидкості води у трубопроводах теплових мереж, вище якого лінійне надіння тиску прямо пропорційне квадрату швидкості. Температура води $t = 150$ °С, шорсткість труб $\Delta = 0,5$ мм.

Відповідь: $v_{гр} = 0,202$ м/с.

Задача 3.6-285. Визначити граничну швидкість для насиченої пари з $t_n = 250$ °С. Шорсткість трубопроводу $\Delta = 0,2$ мм.

Відповідь: $v_{гр} = 2,2$ м/с.