

NESASPIEŽAMA ŠĶIDRUMA PLŪSMAS SKAITLISKĀ MODELĒŠANA CAURULĒ VIRPUĻLAUKA IETEKMĒ

NUMERICAL MODELLING A STREAM OF NOT COMPRESSED LIQUID IN A PIPE UNDER INFLUENCE OF A VORTICAL FIELD

Andris Buikis, Harijs Kalis¹, Ilmārs Kangro²

Institute of Mathematics Latvian Academy of Sciences and University of Latvia, Akadēmijas
laukums 1, LV 1524, Zeļļu iela 8, LV 1002, Rīga, Latvija, ph: 7033722, fax: 7033701,
e-mail: buikis@latnet.lv

¹Institute of Mathematics Latvian Academy of Sciences and University of Latvia, Akadēmijas
laukums 1, LV 1524, Zeļļu iela 8, LV 1002, Rīga, Latvija, ph: 7033722, fax: 7033701,
e-mail: kalis@lanet.lv

²Rēzekne Higher Educational Institution, Department of Engineering Science, Atbrīvošanas
aleja 90, LV 4601, Rēzekne, Latvija, ph: 4625150, fax: 4625901 e-mail: kangro@ru.lv

Abstract. The article features the system of three partial differential equations, which describes the stream stationary axial - a symmetric incompressible liquid in a pipe. The developed technique allows reduce the system of PDE to the difference equations which have been solved due to the grid method. Using computer program MAPLE different values of pressure's difference in the following cases were calculated: a) a smooth pipe; b) the liquid is poured in inside a pipe through the reduced part of a pipe; c) the liquid is poured in inside a pipe through a ring. The liquid's flux modeling in a pipe is investigated at different values of parameter Re (Reynolds number), Γ (parameter of rotation) and A (whirlwind's intensity). The considered technique is applicable in specific targets and processes of formation of whirlwinds, for example, a stream of a liquid or gas in pipelines, in automobile mufflers, etc.

Keywords: difference equations, grid method, parameter of rotation, Reynolds number, stationary axial - a symmetric incompressible liquid, whirlwind's intensity

Ievads

Modernās tehnoloģijas pieprasa arvien efektīvākas, kompaktākas, videi draudzīgākas tehniskās iekārtas. Tas pilnā mērā attiecināms arī uz enerģētikas iekārtām. Tā ir kompakta, efektīva un ekoloģiski tīra iekārta elektroenerģijas pārvēršanai siltumā, kuras matemātiskais modelis apskatīts publikācijās [1; 2]. Pēdējā desmitgadē parādās enerģētikas iekārtas, kuras konstruētas pēc dabā sastopamā tornado (hurrican) principa [3]. Pēc līdzīga principa darbojas darbos [4; 5] modelētā iekārta, kura turbulentu plūsmu, laižot to caur speciāli konstruētu galīgo cilindru sistēmu, izveido virpuļu virkni un tādējādi samazina frontālo pretestību.

Pētījuma objekti un metodes

Modelējot stacionārās aksiāli simetriskās nesaspiežama viskoza šķidrums plūsmas galīgā caurulē, cilindriskās koordinātēs (r, φ, z) apskata šādu parciālo diferenciālvienādojumu sistēmu (Navjē-Stoksa vienādojumi) bezdimensiju formā [2; 5; 7]

$$-r^2 \omega = \psi_{zz} + r(r^{-1} \psi_r)_r, \quad 0 < r < 1, \quad 0 < z < 1 \quad (1)$$

$$\operatorname{Re} M(\omega) = \omega_{zz} + r^{-3} (r^3 \omega_r)_r + r^{-4} \operatorname{Re} \Gamma^2 (w^2)_z + f_\varphi r^{-1}, \quad (2)$$

$$\operatorname{Re} M(w) = w_{zz} + r(r^{-1} w_r)_r, \quad (3)$$

kur $M(g) = v g_z + u g_r$ – konvektīvie locekļi ($g=w; \omega$), ($v = v_r(r, z)$, $v_\varphi(r, z)$, $u = v_z(r, z)$) – ātruma komponentes, $\psi = \psi(r, z)$ – hidrodinamiskā strāvas funkcija vai plūsmas funkcija ($v = r^{-1} \psi_r$, $u = -r^{-1} \psi_z$), $\omega = \omega(r, z) = \omega_\varphi r^{-1}$ ($\omega_\varphi = u_z - v_r$ – virpuļu funkcija), $w = w(r, z) = r v_\varphi$, $\operatorname{Re} = U_0 a / \nu$ – Reinoldsa skaitlis, $\Gamma = V_0 / U_0$ – rotācijas parametrs, $f_\varphi = (F_r)_z - (F_z)_r$ – ārējo spēku (F_r , F_z) rotora komponente, U_0 – vienmērīgās plūsmas ātrums caurules ieejā ($z=0$), a – caurules rādiuss, ν – kinemātiskā viskozitāte, V_0 – lineārais rotācijas ātrums caurules ieejā

($V_0 = a \Omega_0$, kur Ω_0 – leņķiskais ātrums. Plūsmas raksturošanai caurulē uzdod caurteci, t.i., plūsmu caur caurules šķērsgrīzumu $z = \text{const}$ formā [7].

$$Q = 2\pi \int_0^a r v_z dr \quad (4)$$

vai vidējo ātrumu $Q_1 = Q/(\pi a^2) = 2(\psi(a, z_0) - \psi(0, z_0))/a^2$ (bezdimensiju formā $Q_1 = 1$, ja $a = 1$, $\psi(a, z_0) = 0,5$, $\psi(0, z_0) = 0$).

Skaitliskai modelēšanai cauruli pārklāj ar vienmērīgu režģi:

$$r_i = 0,5h_1 + (i-1)h_1, \quad i = 1, \dots, n, \quad z_j = (j-1)h_2, \quad j = 1, \dots, m,$$

kur $nh_1 = 1$, $mh_2 = 1$, un apzīmē tuvinātās nezināmo funkciju ψ , ω , w vērtības režģa punktā (r_i, z_j) ar ψ_{ij} , ω_{ij} , w_{ij} (h_1, h_2 – režģa soļi).

Uz caurules ass ($r = 0$) simetrijas nosacījumi ir formā

$$\psi = \psi_r = \omega_r = w_r = 0. \quad (5)$$

Caurules izejā ($z = 1$) apskatīsim „mīkstos” (plūsmas kļūst paralēla z asij) nosacījumus

$$\psi_z = \omega_z = w_z = 0.$$

Caurules ieejā ($z = 0$) atkarībā no šķidrums ietecēšanas režīma caurulē uzdodam šādus nosacījumus:

1) gludas caurules atrisinājums (šķidrums ieplūst visā caurulē, Puazeiļa plūsma [5])

$$\psi(r) = r^2 - 0,5 r^4, \quad \omega(r) = 4, \quad w(r) = \Omega_2 r^2, \quad (6)$$

kur Ω_2 – cilindriskās virsmas ($r = 1$) leņķiskais rotācijas ātrums;

2) gludas caurules gredzena ($0 < r_0 \leq r \leq 1$) atrisinājums (šķidrums ieplūst pa gredzenu, caurules ieejas daļa $r < r_0$ ir slēgta)

$$\psi(r) = -r^2(\ln r - 0,5)/g + (r^4 \ln r_0 + r_0^2(g - \ln r_0))/(2g(r_0^2 - 1)) - r^2 \ln r_0/(g(r_0^2 - 1)),$$

$$\omega(r) = 2(r^2 - 2 \ln r_0/(r_0^2 - 1))/g, \quad w(r) = (r^2(\Omega_2 - \Omega_1 r_0^2) - r_0^2(\Omega_2 - \Omega_1))/(1 - r_0^2), \quad (7)$$

kur $g = \ln r_0 (r_0^2 + 1) + 1 - r_0^2$, Ω_2, Ω_1 – atbilstoši virsmu $r = 1$ un $r = r_0$ leņķiskie rotācijas ātrumi;

3) sašaurinātas caurules ($r < r_0$) atrisinājums (šķidrums ieplūst no sašaurinātas caurules, caurules ieejas daļa $r_0 \leq r \leq 1$ ir slēgta)

$$\psi(r) = (r/r_0)^2 - 0,5 (r/r_0)^4, \quad \omega(r) = 4r_0^{-4}, \quad w(r) = \Omega_1 r^2. \quad (8)$$

Ievērojot šķidrums pielipšanas nosacījumus pie cietām virsmām (ātrums tur ir nulle), iegūstam robežnosacījumus uz caurules virsmas ($r = 1$)

$$\psi = 0,5, \quad \psi_r = 0, \quad w = 0, \quad \omega = \omega_s,$$

kur ω_s ir virpuļu funkcijas sadalījums uz virsmas (9).

Pētīt ātrumu sadalījumu pie caurules virsmas ($r = 1 - h_1$) posmā ($l_1 < z < l_2$) tiek pievadīti papildus riņķveida punktveida virpuļi ar uzdotas funkcijas

$G(z) = A \sin^{1000}(\pi k(z - l_1))$ palīdzību, kur $k = N/(l_2 - l_1)$, N – riņķveida virpuļu skaits (ārpus segmenta $[l_1, l_2]$ $G(z) = 0$), A – virpuļu intensitāte (amplitūda). Funkcijas vērtības $G(z_j) = A$ (ar precizitāti 10^{-15}), kur $z_j = l_1 + (2j-1)(l_2 - l_1)/(2N)$. Ja $z \neq z_j$, tad $G(z) < 10^{-15}$ (praktiski 0). Ja $A < 0$, tad virpuļi griežas uz pretējo pusi.

Šos virpuļus var realizēt divējādi:

1) tieši pieskaitot $G(z)$ funkcijas ω robežnosacījumam ω_s , ja $r = 1$,

2) netieši, uzdodot lokāli ārējo spēku, piemēram, ja $F_r = -4Az$, $F_z = -Ar$, tad $f_\phi = -3A$, no (2) seko $\omega = Ar$, no (1) – $\psi = -Ar^5/15$, tātad skaitliskos eksperimentos vienādojumā (2) funkcija f_ϕ ir formā $f_\phi = -3G(z)$.

Lai iegūtu virpuļu funkciju ω_s uz robežas, lieto Teilora rindas izvirzījumus funkciju vērtībām $\psi(1 - 0,5h_1, z)$, $\omega(1 - 0,5h_1, z)$ punktu $(1, z)$ apkārtnē (z – fiksēts) [5].

Iegūstam modificētos Vudsa nosacījumus formā (2. kārtas aproksimācijas) [3, 4]

$$\omega_s = -(12 h_1^{-2}(\psi_{n,j} - \psi_s) + 0,5 \omega_{n,j})/(1 - 0,75 h_1), \quad (9)$$

kur ω_s, ψ_s ir ω, ψ vērtības, ja $r = 1, z = z_j$.

Analogi var iegūt robežnosacījumus virpuļu funkcijai pie ieejas ($z = z_1 = h_2$), ja tās daļu aizsedz cieta virsma, proti

$$\omega_{i,1} = -3 h_2^{-2} r_i^{-2} (\psi_{i,2} - \psi_{i,1}) - 0,5 \omega_{i,2}, \quad (10)$$

Diferenciālvienādojumus (1-3) aizstāj ar diferencu vienādojumiem, lietojot centrālās diferences kopā ar monotono-eksponentu aproksimāciju (Patankars [2, 6-8]).

Aproksimējot izteiksmi $R=r(r^{-1}g_r)_r$ ass tuvumā ($r=r_1=h_1/2$) vienādojumus (1, 3)

($g=w$; ψ), ievēro nosacījumus (5), t. i., $g_{0,5,j}=0$, $g_{0,j}=g_{1,j}$ un ka $r^{-1}g_r \rightarrow g_{rr}$, ja $r \rightarrow 0$. Līdz ar to iegūst

$$R = r_1 h_1^{-1} (r_{1,5}^{-1} h_1^{-1} (g_{2,j} - g_{1,j}) - 8 h_1^{-2} g_{1,j}) + O(h_1^2).$$

Aprēķinot hidrodinamiskā spiediena $p=p(r,z)$ sadalījumu uz ass ($p(0,z)$), lieto normēto kustības vienādojumu z-ass virzienā ($v=v_z$, $u=v_r$)

$$p_z = r^{-1} (r v_r)_r + v_{zz} - \text{Re}(v v_z + u v_z). \quad (11)$$

Ievērojot (1), (5), un $r^{-1} (r v_r)_r \rightarrow -2\omega - \psi_{rrz}$, $v_{zz} \rightarrow \psi_{rrz}$, ja $r \rightarrow 0$, $u=0$, iegūst

$$p_z(0,z) = -2\omega(0,z) - 0,5 \text{Re}(\psi_{rr}^2)_z. \quad (12)$$

Aproksimējot atvasinājumus ar vienpusīgām diferencēm ($\omega_{rr}(0,z) = \psi_{rr}(0,z) = 0$)

$$\psi_{rr}(0,z_j) = (81 \psi_{1,j} - \psi_{2,j}) / (9 h_1^2) + O(h_1^3),$$

ekstrapolējot funkcijas ω vērtības uz caurules asi

$$\omega(0,z_j) = (9 \omega_{1,j} - \omega_{2,j}) / 8 + O(h_1^4)$$

un izmantojot aritmētiskās vidējās funkciju vērtības, ar 2. kārtas aproksimāciju iegūst formulu $p_z(0,z_{j-0,5}) = -(9\omega_{1,j} - \omega_{2,j} + 9 \omega_{1,j-1} - \omega_{2,j-1}) / 8 - \text{Re}(81(\psi_{1,j} - \psi_{1,j-1}) - (\psi_{2,j} - \psi_{2,j-1})) / (18h_2h_1^2)$. Integrējot šo sakarību tuvināti ar vidējo taisnstūra formulu segmentā $[0,1]$, iegūst spiediena sadalījumu gar caurules asi

$$p(0,z_j) = p(0,0) + h_2 \sum_{k=1}^j p_z(0, z_{k-0,5}), \quad j=1, \dots, m, \quad (13)$$

kur $p(0,0) = 8l$ – spiediena kritums ($\Pi(r) = p(r,0) - p(r,1) = 8l$ neatkarīgi no r) gludā caurulē ar garumu l . Skaitlisko eksperimentu mērķis ir no (13) izskaitļot $\Pi(0)$ atkarībā no šķidrumsietecēšanas režīma caurulē, no skaitļa Re lieluma un no doto papildus riņķveida virpuļu intensitātes A . Tā kā fiksēto vērtību $\psi(0,z)=0$, $\psi(0,z)=0,5$ dēļ caurtece Q_1 caurulē ir konstanta ($Q_1=1$), tad no spiediena krituma izmaiņām varēs spriest par caurules pretestības un ātruma izmaiņām – samazinoties $\Pi(0)$ vērtībām, atbilstoši palielināsies šķidrumsietecēšanas ātrums caurulē un otrādi.

Rezultāti un to izvērtējums

Skaitliskie aprēķini tika veikti ar parametriem $N=4$, $l_1=0,5$, $l_2=2,5$, $l=4$, $\text{Re}=1;10;20;500$, $\Gamma=0;2$, $r_0=0,475$, $A=\pm 500;1000;2000; 10^6$; 0 , $n=20$, $m=80$. Četri riņķveida virpuļi ($k=2$) ir sakoncentrēti punktos $z_1=0,75$, $z_2=1,25$, $z_3=1,75$, $z_4=2,25$ ($r=0,95$). Diferencu vienādojumi tika realizēti ar apakšējās relaksācijas palīdzību (relaksācijas koeficientu vērtības no 0,3 līdz 0,9).

1. Šķidrumsietecēšanas plūsma gludā caurulē (6), $\Gamma=0$, $\text{Re}=500$, $\Omega_2=0$.

Atkarībā no parametra A iegūstam dažādas spiediena kritumu vērtības (1.tab.) un spiediena sadalījumu uz cilindra ass (Pielikumā 1.att.: $A=0$, 2. att.: $A=-2000$) (1.-3.att. un 9.att. uz horizontālās ass atlikta z koordināte, bet uz vertikālās – spiediens).

2. Šķidrumsietecēšanas plūsma no caurules sašaurinātās daļas plašākajā (8), $\Gamma=0$, $\text{Re}=1;10;20$, $\Omega_1=0$, $A=0$.

Atkarībā no parametra Re iegūstam dažādas spiediena kritumu vērtības (gludā caurulē ar rādiusu r_0 un garumu $l - \Pi(0) = 8 r_0^{-4} l = 628,60$) (2.tab.). Spiediena un plūsmas funkcijas sadalījumus dots attiecīgi 3. un 4.attēlā ($\text{Re}=10$) (4.-8.att. un 10.-16.att. uz vertikālās ass atlikta z koordināte, bet uz horizontālās – caurules rādiuss). Eksperimentāli iegūts, ka, palielinoties Reynolds skaitlim Re , virpuļu zona paplašinās. Realizējot virpuļus ar lokālu ārējo spēku palīdzību (4 riņķveida virpuļi caurules gredzenveida paplašinājumos), tika novērots, ka spiediena sadalījums uz ass būtiski nemainās, bet plūsma virpuļu zonā mainās (5.att.: $A=10^6$, 6.att.: $A=-10^6$). Pie parametru vērtībām $\Omega_1=1$, $\Gamma=2$, $\text{Re}=10$ $A=0$ spiediena

kritums ir $\Pi(0)=270$, bet pie $A=10^6$ un $A=-10^6$ – atbilstoši $\Pi(0)=267$ un $\Pi(0)=272$. Plūsmas līnijas ($A=0$, $A=10^6$) ir redzamas 7. un 8.attēlā.

3. Šķidruma plūsma gar caurules malām caur gredzenu (7), $\Gamma=0$, $Re=100$, $\Omega_1=0$, $\Omega_2=0$, $A=0$. Šajā gadījumā 9. un 10.attēlā redzamas attiecīgi nemonotonas spiediena izmaiņas ar tām atbilstošo plūsmas sadalījumu gludā caurulē. Spiediena izmaiņas ir mazas, ja virpuļu intensitāte ir $A=\pm 10^6$ (pozitīvām vērtībām spiediena kritums ir par 5 mazāks nekā negatīvām). 11. un 12.attēlā redzamas plūsmas līnijas, ja $A>0$ un $A<0$. Rotācijas gadījumā ($\Gamma=2$, $\Omega_1=0$, $\Omega_2=1$, $A=0$) aina ir līdzīga 10.attēlam, bet ja $A=\pm 10^6$, tad – 11 un 12.attēlam (vērojamas nelielas izmaiņas, ja $\Omega_1=1$, $\Omega_2=0$). Jāatzīmē, ka plūsma nav atkarīga no rotācijas virziena maiņas (Ω_1 , Ω_2 ar pretējām zīmēm), jo vienādojumā (2) ir saskaitāmais ar w^2 . Funkcijas w līmeņu līnijas ($A=0$) gadījumā, ja $\Omega_1=0$, $\Omega_2=1$ un $\Omega_1=1$, $\Omega_2=0$ ir redzamas atbilstoši 13. un 14.attēlā, bet 15. un 16.attēlā – virpuļu funkcijas ω līmeņu līnijas, ja $\Omega_1=0$, $\Omega_2=1$ un $\Omega_1=\Omega_2=0$.

Secinājumi

1. Riņķveida virpuļu realizācija caurules iekšpusē pie virsmas paātrina plūsmas ātrumu caurules iekšpusē, ja virpuļu griešanās notiek pulksteņa rādītāja kustības virzienā ($A>0$).
2. Plūsma caurulē ir atkarīga no parametra Re (Reinoldska skaitlis), Γ (rotācijas parametrs) un A (virpuļu intensitāte) vērtībām.
3. Plūsma caurulē ir atkarīga no ietecēšanas režīma caurulē.
4. Aprēķini ir saistīti ar konkrētiem virpuļu lietojumiem enerģētikā [3-5]. Darbā aplūkotā metodika ļauj modelēt un pētīt dabā sastopamās virpuļauku (tornado) parādības, šķidrumu un gāzu plūstamību cilindriskās vidēs, piemēram, gāzes vai naftas vados, automobiļu izpūtējos u.c.

Summary

The stream stationary axial - a symmetric incompressible liquid in a pipe is modeled. Process is characterized by system of the partial differential equations (equations Nawe-Stock) given in the dimensionless form in cylindrical coordinates (r , φ , z) (1), (2), (3) [1, 2]

where $M(g) = vgz + ugr$ - convective parts ($g = w; \omega$), ($v = v_r(r, z)$, $v_\varphi(r, z)$, $u = v_z(r, z)$) – velocity components, $\psi = \psi(r, z)$ - hydro dynamical flux function ($v = r^{-1} \psi_r$, $u = -r^{-1} \psi_z$), $\omega = \omega(r, z) = \omega_\varphi r^{-1}$ ($\omega_\varphi = u_z - v_r$ - function of a whirlwind (circulation)), $w = w(r, z) = r v_\varphi$, $Re = U_0 a / \nu$ – Reynolds number, $\Gamma = V_0 / U_0$ - parameter of rotation, $f_\varphi = (F_r)_z - (F_z)_r$ - a component of a rotor of external forces (F_r , F_z), U_0 - velocity of a uniform flux at an input in a pipe ($z=0$), a - radius of a pipe, ν - kinematics viscosity, V_0 - linear speed of rotation at an input in a pipe ($V_0 = a \Omega_0$, Ω_0 - angular speed). For the characteristic of a stream in a pipe, the channel is defined, i.e. flux resembling through cross section $z = \text{const}$ in the form (4) [1] or average velocity $Q_1 = Q / (\pi a^2) = 2(\psi(a, z_0) - \psi(0, z_0)) / a^2$ (in dimensionless form $Q_1 = 1$, if $a=1$, $\psi(a, z_0) = 0.5$, $\psi(0, z_0) = 0$). For numerical modeling the pipe becomes covered by a uniform grid.

On an axis of a pipe ($r=0$) conditions of symmetry are submitted in the form (5). On an output of a pipe ($z=l$) we shall consider "soft" conditions (the stream is established parallel to an axis - z) $\psi_z = \omega_z = w_z = 0$. On an input of a pipe ($z=0$) depending on a mode of flowing of a liquid in a pipe we lay down the following conditions:

1) The solution of a smooth pipe (the liquid is poured in inside all pipe, Puasel's flux [1]) (6), where Ω_2 - angular speed of rotation of a cylindrical surface ($r=1$); 2) The solution of a ring of a smooth pipe ($0 < r_0 \leq r \leq 1$) (the liquid is poured in inside a pipe through a ring where the entrance part of a pipe is closed at $r < r_0$) (7), where $g = \ln(r_0^2 + 1) + 1 - r_0^2$, Ω_2 , Ω_1 - angular velocities of rotation accordingly for surfaces $r=1$ and $r=r_0$. 3) The solution of the reduced pipe ($r < r_0$) (the liquid is poured in inside a pipe through the reduced part of a pipe where the entrance part of a pipe is closed at $r_0 \leq r \leq 1$) (8).

Taking into account conditions of sticking of a liquid to firm surfaces (there velocity is equal to zero), we receive boundary conditions on a surface of a pipe ($r=1$) $\psi = 0.5$, $\psi_r = 0$, $w = 0$, $\omega = \omega_s$, where ω_s is a distribution of the whirlwind function on a surface of a pipe.

Boundary conditions for a whirlwind function on the surface are in the form (9), but near an input ($z=z_1=h_2$) (at the closed input) - in the form (10).

The pressure's function on z -axis is in the form (11 – 12), the corresponding pressure's distribution – (13) and the pressure's difference is $(\Pi(r) = p(r,0) - p(r, l) = 8l$. The numerical calculations were processed by parameters $N=4$, $l_1=0.5$, $l_2=2.5$, $l=4$, $Re=1;10;20;500$, $\Gamma=0;2$, $r_0=0.475$, $A=\pm 500;1000;2000; 10^6$; 0 , $n=20$, $m=80$. Four whirlwinds are placed in the points $z_1=0.75$, $z_2=1.25$, $z_3=1.75$, $z_4=2.25$ ($r=0.95$).

Different values of pressure's difference $\Pi(r)$ in the following cases were received: a) a smooth pipe ($0 < r \leq 1$) (6), $\Gamma=0$, $Re=500$, $\Omega_2=0$ (Fig. 1.,2); b) the liquid is poured in inside a pipe through the reduced part of a pipe, ($r < r_0$) in a part ($0 < r \leq 1$) (8), $\Gamma=0$, $Re=1;10;20$, $\Omega_1=0$, $A=0$ (Fig. 3. – Fig. 8.); c) the liquid is poured in inside a pipe through a ring ($0 < r_0 \leq r \leq 1$) in a part ($0 < r \leq 1$) (7), $\Gamma=0$, $Re=100$, $\Omega_1=0$, $\Omega_2=0$, $A=0$, (Fig. 9. – Fig. 16.).

Conclusions: 1. Acceleration of a stream of a liquid at a wall of a pipe is achieved by creation the vortical stream on a clockwise direction.

2. Character of a stream of a liquid in a pipe in many respects depends on values of the parameters Re , Γ and A .

3. Character of a stream of a liquid in a pipe in many respects depends on a mode of liquid's pouring in inside of a pipe.

4. The considered technique is applicable in specific targets and processes of formation of whirlwinds, for example, a stream of a liquid or gas in pipelines, in automobile mufflers, etc.

Literatūra

1. Buikis, A., Kalis, H. The vortex formation in a horizontal finite cylinder by alternating electric current. Mathematical modeling and analysis. Vol.10, No.1, 2005. pp. 9-18.
2. Buikis, A., Kalis, H. Flow and temperature calculations of electrolyte for a finite cylinder in the alternating field of finite number circular wires. Magnetohydrodynamics, vol.40, No.1, 2004. pp. 77-90.
3. Schatz, J. Mini-Tornado mit Wirbeleffekten. Neue universale energielösungen. Jupiter Verlag, 2003. pp. 247-290.
4. Buikis, A., Kalis, H., Schatz, J. Calculation of the velocity field of ideal fluid, induced by vortex curves in a finite cylinder. Proc. of WSEAS int. conf.: On environment, ecosystems and development. Venice, Italy, November 2-4, 2006. pp. 255-260.
5. Buikis, A., Kalis, H., Schatz, J. Numerical calculation of flow field caused by vortices chain. Proc. of 5-th WSEAS int. conf.: On system science and simulation in engineering. Tenerife, Canary Islands, Spain, December 16-18, 2006. pp. 427-432.
6. Kalis, H. Special computational methods for solution of MHD problems. Magnetohydrodynamics, vol. 32(3), 1996. pp. 272-280.
7. Milne-Thomson, L.M. Theoretical hydrodynamics. London, New York: Clarendon press, 1960.
8. Patankar, S. Calculation of the heat transfer and fluid flow problems. Moscow: Nauka, 1984.

PIELIKUMS

1. tabula

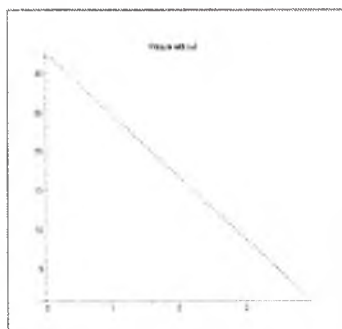
Spiediena krituma $\Pi(0)$ atkarība no parametra A vērtībām

A	0	500	1000	2000	-500	-1000	-2000
$\Pi(0)$	32	22	18	12	38	46	53

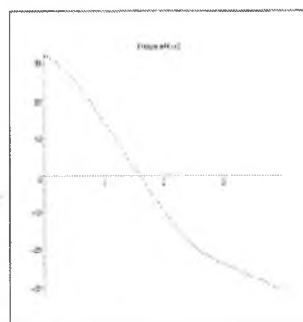
2. tabula

Spiediena krituma $\Pi(0)$ atkarība no parametra Re vērtībām

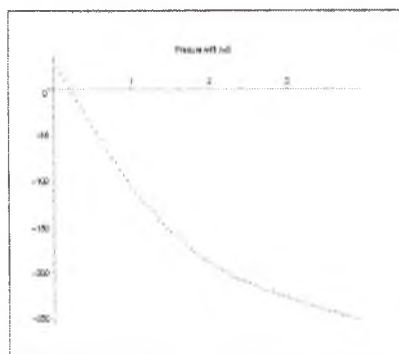
Re	0	1	10	20
$\Pi(0)$	69	82	283	440



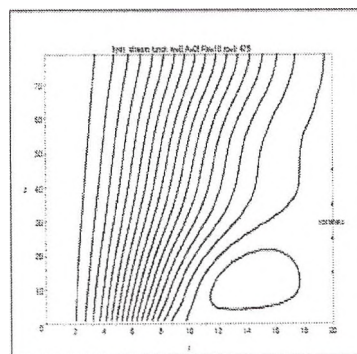
1.attēls. Spiediena sadalījums uz cilindra ass gludā caurulē (A=0)



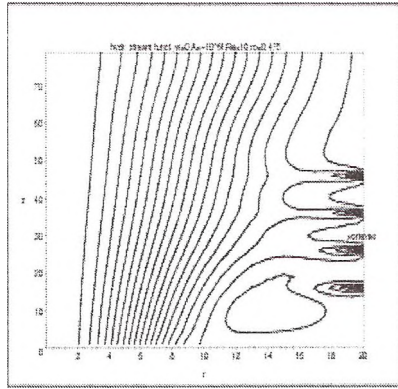
2.attēls. Spiediena sadalījums uz cilindra ass gludā caurulē (A=-2000)



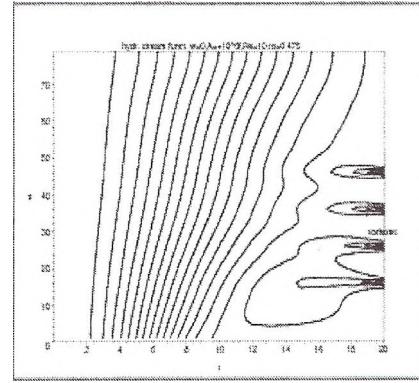
3.attēls. Spiediena sadalījums uz cilindra ass gludā caurulē (Re=10)



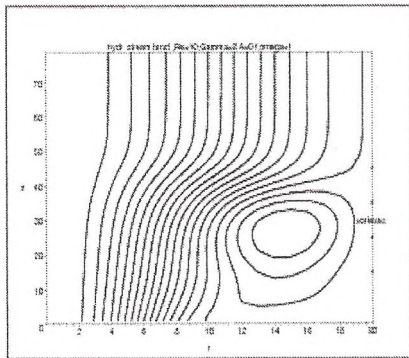
4.attēls. Plūsmas sadalījums gludā caurulē (Re=10)



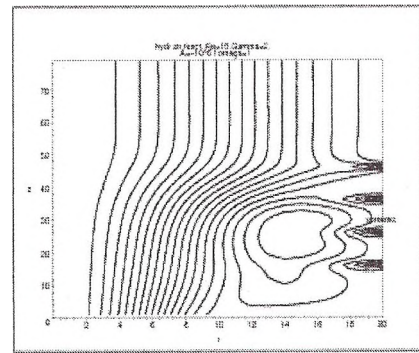
5.attēls. Plūsmas sadalījums caurulē ar sašaurinātu ieeju un riņķveida virpuļiem ($A=10^6$)



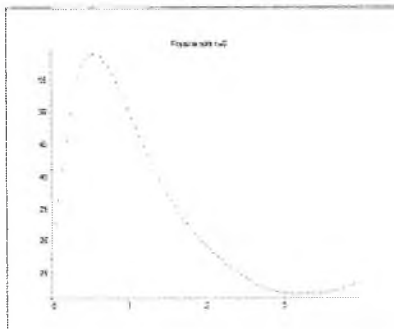
6.attēls. Plūsmas sadalījums caurulē ar sašaurinātu ieeju un riņķveida virpuļiem ($A=-10^6$)



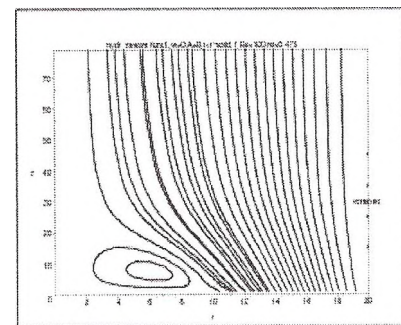
7.attēls. Plūsmas sadalījums gludā caurulē ar sašaurinātu ieeju ($A=0$)



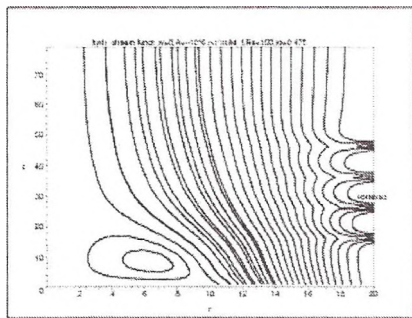
8.attēls. Plūsmas sadalījums caurulē ar sašaurinātu ieeju un riņķveida virpuļiem ($A=10^6$)



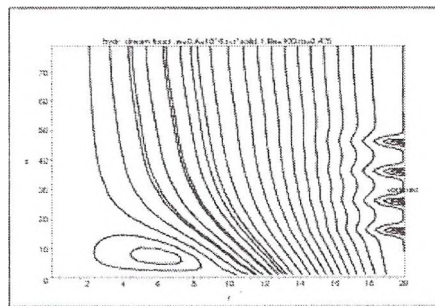
9.attēls. Spiediena sadalījums uz ass plūsmai caur gredzenu gludā caurulē



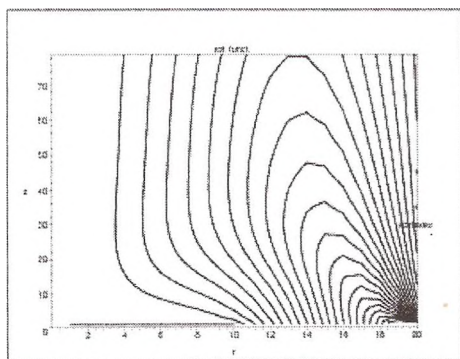
10.attēls. Plūsmas sadalījums caur gredzenu gludā caurulē



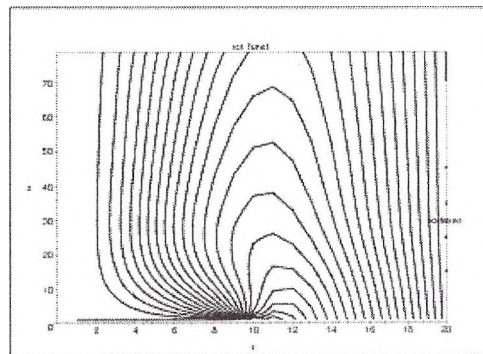
11.attēls. Plūsmas sadalījums caur gredzenu ar riņķveida virpuļiem ($A > 0$)



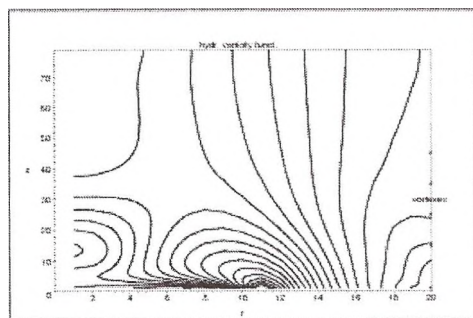
12.attēls. Plūsmas sadalījums caur gredzenu ar riņķveida virpuļiem ($A < 0$)



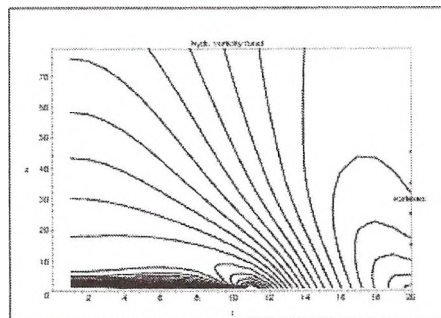
13.attēls. Rotācijas funkcijas w sadalījums plūsmai caur gredzenu ($A=0, \Omega_1=0, \Omega_2=1$)



14.attēls. Rotācijas funkcijas w sadalījums plūsmai caur gredzenu ($A=0, \Omega_1=1, \Omega_2=0$)



15.attēls. Virpuļu funkcijas ω sadalījums plūsmai caur gredzenu ($A=0, \Omega_1=0, \Omega_2=1$)



16.attēls. Virpuļu funkcijas ω sadalījums plūsmai caur gredzenu ($A=0, \Omega_1=0, \Omega_2=0$)