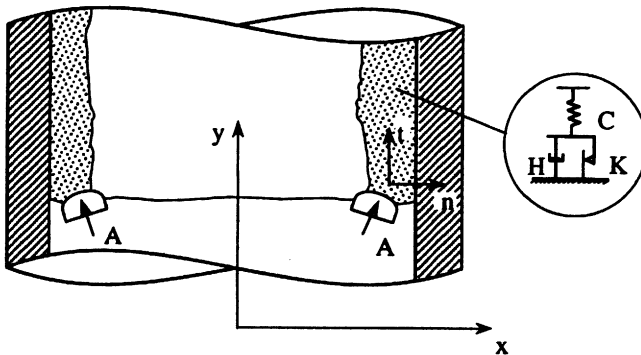


## Reologinis dinaminis modelis ir proceso parametrų optimizavimas vibracinio valymo atveju

Rimantas DIDŽGALVIS (KŽŪU), Antanas SUDINTAS (KTU),  
Irena TIKNEVIČIENĖ (KTU)  
*e-mail: antanas.sudintas@mf.ktu.lt*

Sprendžiant inžinerinius mechaninio valymo uždavinius, dažnai tenka panaudoti matematinius ir fizikinius metodus valymo proceso ir įtaiso struktūros nustatymui bei parametrų parinkimui. Praktikoje plačiai sutinkamas vamzdžių su sukietėjusiomis nuosėdomis vibracinio valymo atvejis. Valymui paprastai taikomi vibraciniai įtaisai, su vibromūginiame režime dirbančiais aktyviaisiais elementais, veikiančiais normaline sienelių atžvilgiu kryptimi. Šių valymo įtaisų darbo režimai pagal sistemos parametrus nėra derinami, todėl jų veikimas dažnai būna neefektyvus. Be to, naudojant šiuos įtaisus, neatsižvelgiama į nuosėdų mechanines-reologines savybes, dėl ko nuosėdos nepilnai sudardomos. Neįvertinant mechaninių-reologinių nuosėdų savybių ir empiriškai parenkant vibracinio proceso parametrus, valymas yra ne tik mažo efektyvumo, bet ir tampa pavojingas dėl vamzdžių sienelės mechaninio pažeidimo galimybės.



1 pav. Principinė deformuojamojo vibracinio valymo schema ir nuosėdų reologinis modelis:

$A$  – dinaminis poveikis,  $t$  – tangentinė valymo kryptis,  $n$  – normalinė valymo kryptis.

Siekiant išvengti paminėtų problemų, siūlomas šis vibracinio valymo metodas, kai aktyvusis valantysis elementas yra žadinamas atitinkamu dažniu ir tam tikra kryptimi (žr. 1 pav.), o nuosėdos vidiniame vamzdžio paviršiuje yra identifikuojamos reologinėmis standumo, slopinimo ir sausos trinties charakteristikomis, sudarančiomis atitinkamą vibracinį-reologinį kūną, sąveikaujantį su valančiuoju elementu.

Kadangi nuosėdų pagal jų sudėtį ir mechaninę būseną būna įvairių, šiame straipsnyje panaudosime tyrinėtą eksperimentiniu būdu nuosėdas, kurių reologinis modelis atitinka tampriai-klampiai-plastišką kūną  $[C + (H + K)]$ .

Siūlomas vibracinio valymo sistemos dinaminis modelis pateiktas 2 pav. Papildomai modelyje pažymėtas sumos trinties elementas  $L_t$  išreiškia nuosėdų ir sienelės tangentine sankabos jėgą.

Matematinis mechaninės sistemos modelis yra tokia diferencialinių lygčių sistema:

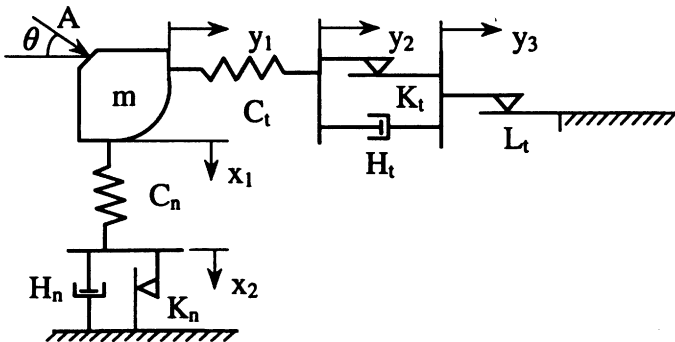
$$\begin{aligned} m\ddot{x}_1 + C_n(x_1 - x_2) + f_t C_t(y_1 - y_2)\text{sign } \dot{x}_1 &= A \sin \omega t \sin \theta, \\ C_n(x_2 - x_1) + K_n \text{sign } \dot{x}_2 + H_n \dot{x}_2 &= 0, \\ m\ddot{y}_1 + C_t(y_1 - y_2) + f_n C_n(x_1 - x_2)\text{sign } \dot{y}_1 &= A \sin \omega t \cos \theta, \\ C_t(y_2 - y_1) + K_t \text{sign } (\dot{y}_2 - \dot{y}_3) + H_t (\dot{y}_2 - \dot{y}_3) &= 0, \\ L_t \text{sign } \dot{y}_3 + H_t (\dot{y}_3 - \dot{y}_2) + K_t \text{sign } (\dot{y}_3 - \dot{y}_2) &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Čia:

- $m$  – valančiojo elemento masė,
- $C_n, C_t$  – nuosėdų standumas normaline ir tangentine kryptimi,
- $H_n, H_t$  – slopinimo koeficientai normaline ir tangentine kryptimi,
- $K_n, K_t$  – sausos trinties koeficientai normaline ir tangentine kryptimi,
- $L_t$  – sausos trinties jėga, charakterizuojanti nuosėdų prikibimą prie sienelių,
- $f_n, f_t$  – vidinės trinties koeficientai normaline ir tangentine kryptimi,
- $\theta$  – jėgos veikimo kampas,
- $A \sin \omega t$  – žadinanti jėga.

Pradinės sąlygos:

$$\begin{aligned} x_1(0); \quad \dot{x}_1(0) = V \sin \theta; \quad y_1(0) = 0; \quad \dot{y}_1(0) = V \cos \theta; \\ y_2(0) = 0; \quad y_3(0) = 0; \quad x_2(0) = 0. \end{aligned} \quad (2)$$



2 pav. Dinaminis valymo modelis, kai išvalomosios nuosėdos aproksimuotos tampriai-klampiai-plastišku kūnu:  $C_t, H_t, K_t, C_n, H_n, K_n$  – reologinės nuosėdų medžiagos charakteristikos tangentine ir normaline kryptimis,  $L_t$  – nuosėdų ir sienelės sankabos jėga,  $\theta$  – dinaminio poveikio į nuosėdas kampas,

$m$  – valančiojo elemento masė.

Tegul nuosėdų storis yra  $\ell$ . (1), (2) ir (3) lygtis užrašysime nedimensiniame pavidale:

$$\begin{aligned} x_1'' + x_1^* - x_2^* + f_t \gamma (y_1^* - y_2^*) \operatorname{sign} x_1' &= a \sin \beta \tau \sin \theta, \\ h_n x_2' + k_n \operatorname{sign} x_2' + x_2^* - x_1^* &= 0, \\ y_1'' + \gamma (y_1^* - y_2^*) + f_n (x_1^* - x_2^*) \operatorname{sign} y_1' &= a \sin \beta \tau \cos \theta, \\ \gamma (y_2^* - y_1^*) + k_t \operatorname{sign} (y_2' - y_3') + h_t (y_2' - y_3') &= 0, \\ \ell_t \operatorname{sign} y_3' + h_t (y_3' - y_2') + k_t \operatorname{sign} (y_3' - y_2') &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Pradinės sąlygos:

$$\begin{aligned} x_1^*(0) = 0; \quad x_1'(0) = \frac{V \sin \theta}{p \cdot \ell}; \quad x_2^*(0) = 0; \quad y_1^*(0) = 0; \\ y_1'(0) = \frac{V \cos \theta}{p \cdot \ell}; \quad y_2^*(0) = 0; \quad y_3^*(0) = 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Čia:

$$\begin{aligned} \frac{C_n}{m} = p^2; \quad \tau = pt; \quad \gamma = \frac{d}{d\tau}; \quad \gamma = \frac{C_t}{C_n}; \quad h_n = \frac{H_n}{mp}; \\ h_t = \frac{H_t}{mp}; \quad \beta = \frac{\omega}{p}; \quad k_n = \frac{K_n}{mp^2 \ell}; \quad k_t = \frac{K_t}{mp^2 \ell}; \\ \ell_t = \frac{L_t}{mp^2 \ell}; \quad a = \frac{A}{\ell mp^2}; \quad x^* = \frac{x}{\ell}; \quad y^* = \frac{y}{\ell}. \end{aligned}$$

Akivaizdu, kad nuosėdų standumas kinta priklausomai nuo jų sluoksnių atstumo iki vamzdžio sienelės ir yra skirtingi normaline ir tangentine kryptimis. Todėl šiame modelyje standumai normaline ir tangentine kryptimis yra įvertinti taip:

$$C_n = C_n^* e^{r(x_1^* - 1)}; \quad C_t = C_t^* (\Delta x_1^* + x_1^*).$$

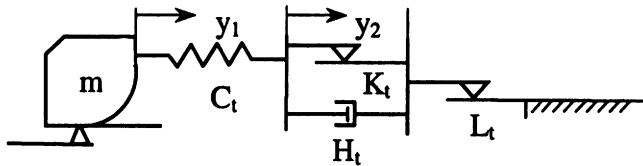
Koeficientas  $r$  ir sluoksnio storis  $\Delta x_1^*$  yra suskaičiuojami žinant nuosėdų sluoksnio standumus jų paviršiuje ir prie vamzdžio sienelės.

Šio darbo tikslas yra išanalizuoti masės  $m$  judesį ardančią nuosėdų sluoksnį, o taip pat parinkti optimalius parametrus  $A, \theta, \beta$  ir  $\omega$  pagal įrengimams aktualius optimizavimo kriterijus. Pagrindiniai kriterijai yra proceso greitaeigiškumas ir minimalios energetinės sąnaudos.

Kadangi paviršių valymo įrenginiai gana efektyviai dirba prie mažų kampų  $\theta$ , valymo procesas šiame darbo etape analizuojamas panaudojant modelį, charakterizuojantį kliūties pašalinimą ją nuvalant (3 pav.).

Šiame modelyje standumo vertė normaline kryptimi yra pakankamai didelė, todėl judesys vyksta tik tangentine kryptimi. Matematinis modelis yra užrašomas taip:

$$\begin{aligned} m\ddot{y}_1 + C_t(y_1 - y_2) + f_n \operatorname{sign} \dot{y}_1 &= A \sin \omega t, \\ C_t(y_2 - y_1) + K_t \operatorname{sign} \dot{y}_2 + H_t \dot{y}_2 &= 0, \\ H_t \dot{y}_2 + K_t \operatorname{sign} \dot{y}_2 &\geq L_t, \end{aligned}$$

3 pav. Atskiras dinaminio modelio atvejis ( $\theta = 0$ ).

arba nedimensiniame pavidale:

$$y_1^{*''} + y_1^* - y_2^* + f_n \operatorname{sign} y_1^{*'} = a \sin \beta \tau, \quad (5)$$

$$y_2^* - y_1^* + k_t \operatorname{sign} y_2^{*'} + h_t y_2^{*'} = 0,$$

$$h_t y_2^{*'} + k_t \operatorname{sign} y_2^{*'} \geq l_t. \quad (6)$$

(6) sąlyga yra panaudojama nuosėdų pašalinimo laiko momentui  $\tau = T$  apskaičiuoti.

Optimali šio uždavinio analizė yra atlikta panaudojant du svarbius mechaninius-konstruktinius kriterijus, charakterizuojaiančius nuosėdų valymo efektyvumą. Tai valymo greitaeigiškumas ir energijos nuostoliai, patiriami valymo procese. Matematinės šių charakteristikų išraiškos užrašomos taip:

$$W_1 = \int_0^{\tau} d\tau; \quad (7)$$

$$W_2 = \int (h_t y_2^{*'} + k_t \operatorname{sign} y_2^{*'}) y_2^{*'} d\tau. \quad (8)$$

Skaičiavimo procese buvo minimizuojami funkcionalai (7), (8). Modelio parametrai buvo tokie:

$$h_t = 10, \quad k_t = 0, 1, \quad l_t = 0, 3, \quad f_n = 0, 5, \quad 0, 6 \leq \beta \leq 1, 2, \quad 0, 2 \leq a \leq 2.$$

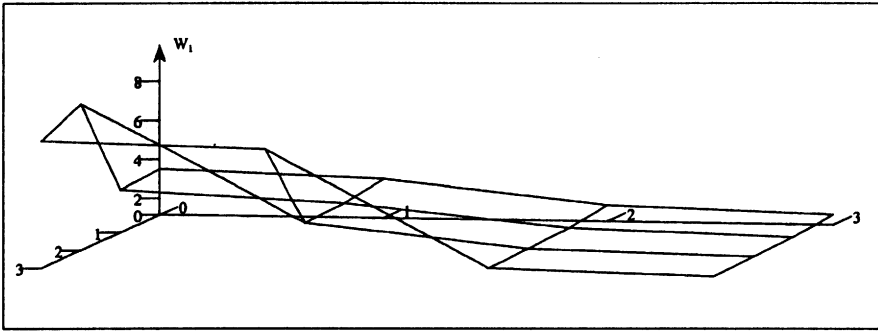
Pradinės sąlygos:

$$y_1^*(0) = 0, \quad y_1^{*'}(0) = 0, \quad y_2^*(0) = 0.$$

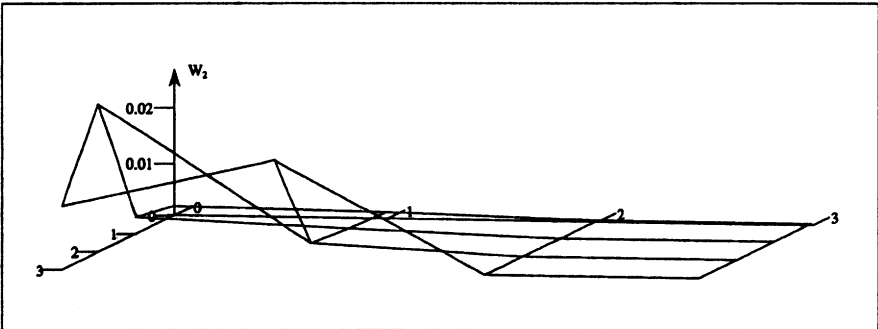
Dviejų kintamųjų funkcijų  $W_1(a, \beta)$  ir  $W_2(a, \beta)$  grafikai yra pavaizduoti 4 ir 5 paveiksluose. 6 ir 7 paveiksluose yra funkcijų  $W_1(\beta, a^*)$  ir  $W_2(\beta, a^*)$  grafikai, kai  $a^* = 2$ . 8 ir 9 paveiksluose pavaizduoti funkcijų  $W_1(\beta^*, a)$  ir  $W_2(\beta^*, a)$  grafikai, kai  $\beta^* = 1, 2$ .

Atliekant tyrimus nustatyta, kad charakteristikų  $W_1$  ir  $W_2$  optimalios reikšmės įgyjamos arti sistemos parametru  $\alpha$  ir  $\beta$  reikšmių kitimo srities kontūro.

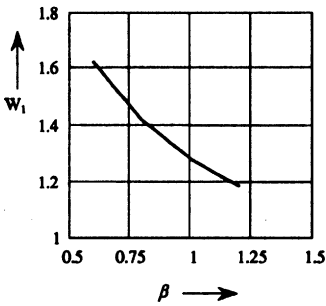
**Išvada.** Sudaryti nagrinėjamo paviršių valymo proceso mechaninis ir matematinis modeliai ir sukurta reologinių modelių skaičiavimo metodika. Jos pagalba galima apskaičiuoti optimalias paviršių valymo proceso charakteristikas. Keičiant reologinio modelio tipą ir atskiras parametrų vertes, skaičiavimas gali būti pritaikytas įvairioms fizinio stovio nuosėdoms. Didesnio storio nuosėdų sluoksniams taikytinas dinaminio modelio pagal



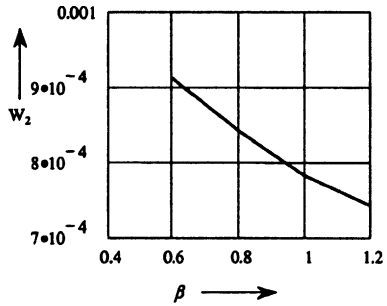
4 pav.



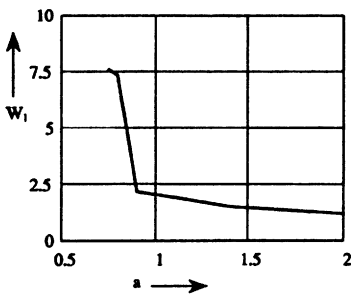
5 pav.



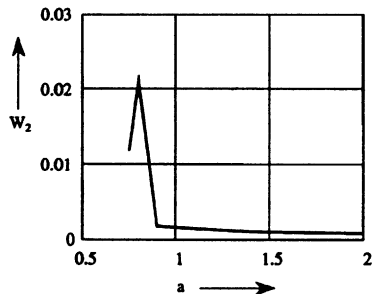
6 pav.



7 pav.



8 pav.



9 pav.

(1) sistema. Jo nagrinėjimas sudaro sekančią šio metodo tyrimo pakopą. Siūlomas vibracinis valymo būdas kai nuosėdos aproksimuojamos reologiniu kūnu yra ekonomiškai ir naudotinas inžinerijoje parengiant valymo įtaisus ir nustatant darbo režimo parametrus ilgą ir didelio skersmens, pvz., magistralinių naftotiekių, vamzdynų valymui.

## Literatūra

[1] В.Л. Рагульскене, *Вибродарные системы*, Вильнюс, Минтис (1974).

## Optimisation of parameters of vibration control process by applying rheological dynamic model

R. Didžgalvis, A. Sudintas, I. Tiknevičienė

The process of vibration control in question is investigated when the sediment is described in terms of rheologic body. The summarised dynamic and mathematical models of the vibration control are presented. In the partial case the sediment is described in terms of elastic-tough-plastic body. It is assumed that the vibration power is directed to the surface under cleaning at a certain angle therefore the process is analysed in tangent and normal directions. There is determined optimum criteria for the vibration control process. The solution of the system is presented for the case when the angle of the influence power  $\theta = 1$ . There are presented the main characteristics of the process and conclusions on it.