

Application of the basic hydrodynamics equations in the modeling of hydraulic drives working processes

To determine the main performance characteristics in the mathematical modeling of hydraulic, drive workflows mainly use two approaches. In the first approach, they use a mathematical model based on a system of differential equations of motion of the elements of the actuator and the costs [1] when switching the working cavities. This modeling approach uses a partial solution of the Navier-Stokes differential equation [2], which introduces an empirical cost factor. The disadvantage of this approach is the higher coefficients, which do not differ in different modes of fluid flow in the hydraulic drive. The second approach is based on the energy-mechanical approach, where the hydrodynamic loss function is linearized [3, 4] using the energy conservation law. The disadvantage of these approaches is the neglect of significant losses, which make a significant difference between the results of theoretical and experimental studies.

Overcoming these disadvantages, in the mathematical modeling of hydrodynamic processes in the hydraulic actuator, lies in the plane of spatial-stationary formulation of the problem, using a system of differential continuity equations –

$$\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} + \operatorname{div}(\bar{\mathbf{V}}) = 0 \text{ and the Navier-Stokes - } \frac{\partial \bar{\mathbf{V}}}{\partial t} + (\bar{\mathbf{V}} \times \Delta) \bar{\mathbf{V}} = \bar{\mathbf{F}} - \frac{1}{\rho} \operatorname{grad} p + \frac{\nu}{3} \operatorname{grad}(\operatorname{div} \bar{\mathbf{V}}) + \nu \Delta^2 \bar{\mathbf{V}}, \text{ where}$$

$\rho, \bar{\mathbf{V}}, \nu, \bar{\mathbf{F}}$ is the density, velocity, kinematic viscosity, and external (volumetric) forces related to the unit of mass of the working fluid. This mathematical modeling approach requires the development of numerical methods using high-precision difference schemes [2].

As Navier-Stokes equations are derived for the laminar fluid flow regime, and in the hydraulic actuator, the turbulent fluid motion mode occurs at smaller Reynolds numbers (20 ... 260 for valve and spool shut-off elements [4]), therefore, for modeling the turbulent flow modes of the working fluid, it is necessary to additionally use a certain mathematical model of turbulence [2, 3]. One such model is the low-Reynolds semi-empirical model of turbulence, which is a modification of the Navier-Stokes differential equation by Reynolds averaging [3, 5]:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k \bar{V}_{xi}) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k; \\ \frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon \bar{V}_{xi}) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon, \end{cases} \quad (1)$$

where k, ε - kinetic energy of turbulence and dissipation; G_k - turbulent kinetic energy, open from average gradients rapidly; $C_v = 0.09$; $S_{k,\varepsilon}$ is the invariant of the strain tensor; G_b is the kinetic energy of the ejection force; Pr_t - Prandtl's turbulent energy table; g_i is a component of the gravity vector; β_t is the coefficient of thermal expansion; M_t - Mach number for turbulent fluid [2].

Empirically obtained laws of flow behavior are used to simulate the motion of the wall layers of the working fluid [4], where for the turbulent boundary layer the tangential component of a dimensionless velocity has a logarithmic law:

$\mathbf{V}^+ = \text{kar}^{-1} \ln(Ey^+)$ in which: $\text{kar} = 0,4 \div 0,42$ is a Karman's constant [3]; $E = 8,80 \div 9,79$ - constant, which determines the degree of wall roughness [6]; $11,6 \leq y^+ \leq 400$ - dimensionless distance to the wall.

As the presence of geometric regions of the gap type structurally characterized the hydraulic actuator, therefore, necessary to use an additional special mathematical model for this area. According to experimental data [1, 7], there occurs a laminar flow with a parabolic velocity profile takes place in the gap region. Therefore, the volumetric friction force in the calculation cell: $\bar{\mathbf{F}} = -\rho D \bar{\mathbf{V}}, \text{ де } D = 12\nu\rho^{-1}\delta^{-2} > 0$, a δ - the width of the gap channel.

An example of the use of the basic provisions of hydrodynamics in mathematical modeling of work processes in a hydraulic impulse drive [1, 5] of a vibrating hammer (Pic. 1, a) is the obtained distribution of velocities of fluid in the cavity of the hydraulic actuator (Pic. 1, b).

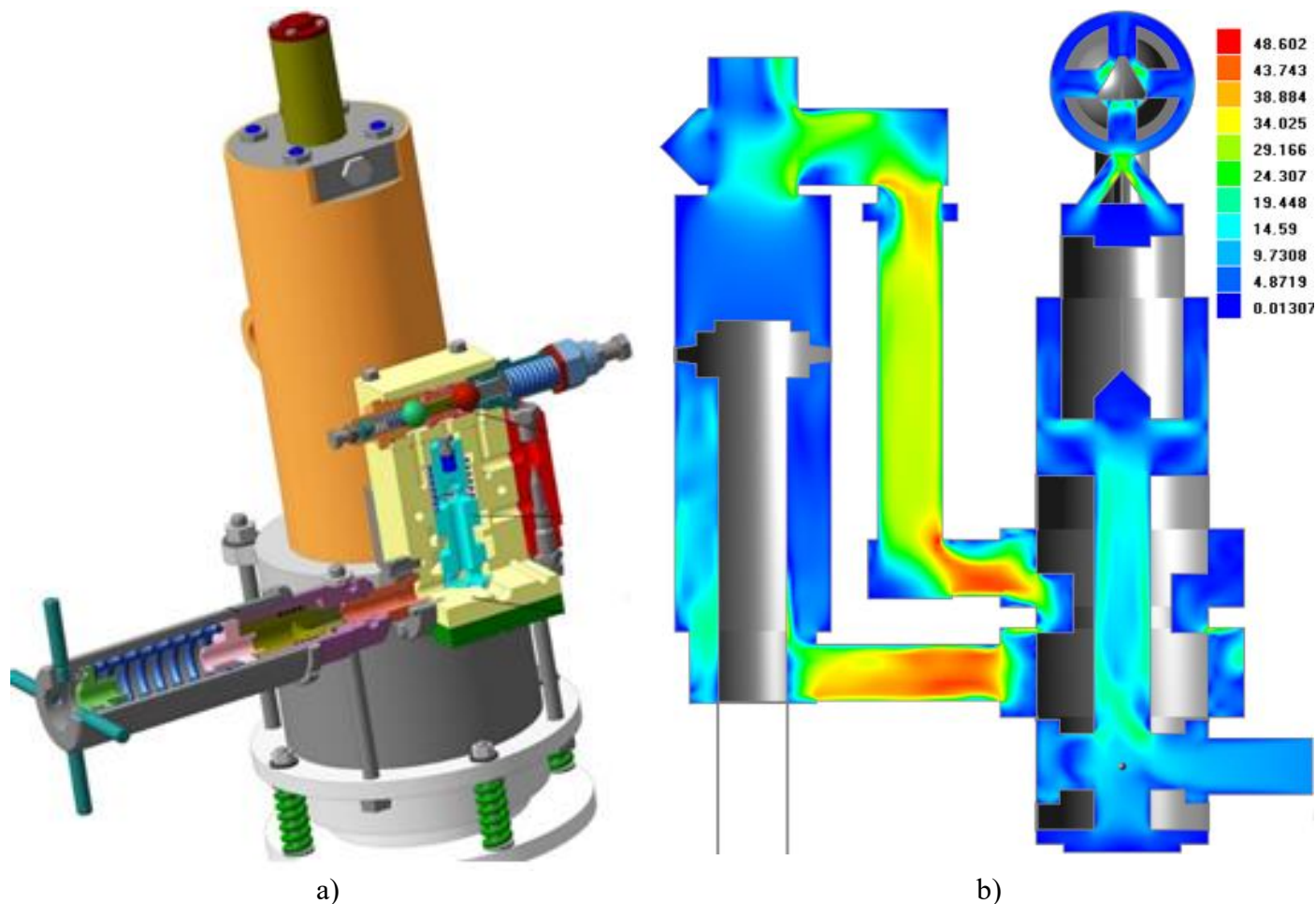


Fig. 1 – The three-dimensional model a) of the hydraulic drive of the mounted hammer and the velocity distribution in the cavity of the hydraulic drive b)

List of links

1. Іскович–Лотоцький, Р.Д. Дослідження динаміки процесу роботи універсального гідравлічного віброудраного приводу для розвантаження транспортних засобів [Текст]/ Р. Д. Іскович–Лотоцький, Я. В. Іванчук // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за напрямом «Інженерна механіка»)– Луцьк, 2007. – № 20. – С. 184 – 187.
2. Іскович–Лотоцький, Р.Д. Моделювання робочих процесів в піролізній установці для утилізації відходів [Текст]/ Р. Д. Іскович–Лотоцький, Я. В. Іванчук, Я. П. Веселовський // Східно–європейський журнал передових технологій. – Харків, 2016. – Том 1, № 8(79). – С. 11–20. doi: 10.15587/1729-4061.2016.59419.
3. Іскович–Лотоцький, Р.Д. Математичне моделювання робочих процесів інерційного вібропрес–молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода для формоутворення заготовок з порошкових матеріалів [Текст]/ Р. Д. Іскович–Лотоцький, В. П. Міськов, Я. В. Іванчук // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2016, – №3(237). – С. 176 – 180.
4. Іскович–Лотоцький, Р.Д. Моделювання робочих процесів гідроімпульсного привода з однокаскадним клапаном пульсатором [Текст]/ Р. Д. Іскович–Лотоцький, Я. В. Іванчук, Я. П. Веселовський // Вібрації в техніці та технологіях. – Вінниця, 2017. – № 3(86). – С. 10–19.
5. Іскович–Лотоцький, Р. Д. Підвищення ефективності розвантаження матеріалів під дією періодичних ударних імпульсів [Текст]/ Р. Д. Іскович–Лотоцький, Я. В. Іванчук // Вібрації в техніці і технологіях. – 2008. – №2(51). – С. 8 – 11.
6. Іванчук, Я. В. Метод чисельного моделювання гідродинамічних процесів [Текст]/ Я. В. Іванчук, А. А. Яровий, К. О. Коваль // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – Вінниця, 2019. – № 1 (44). – С. 37 – 45.
7. Ivanchuk, Y. V. Mathematical modeling for the technological process of surface soil compaction by the inertial vibratory rammer [Text]// Academic journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. – Poltava, PoltNTU, 2019. – 1 (52). – P. 15 – 24. doi: 10.26906/znp.2019.52.1666.