

## ДИНАМІКА ВЗАЄМОДІЇ РОЗПОДІЛЕНИХ ЧАСТИНОК У ПОТОЦІ ВАНТАЖУ

Використання моделей приведених мас чи суцільного середовища неприйнятно для дослідження потоку сипкого вантажу внаслідок суттєвих погрішностей при дослідженні динамічних процесів, оскільки кожна частинка потоку характеризується параметрами, що можуть суттєво відрізнятися від параметрів оточуючого середовища. У цьому випадку доцільно використовувати методи дослідження розподілених динамічних систем, де кожна частинка потоку описується з допомогою алгебрологічних функцій як окремий об'єкт з індивідуальними кінетичними та динамічними параметрами.

Одним із найбільш прийнятних шляхів розв'язку задач взаємодії декількох об'єктів є побудова моделі на основі пружної взаємодії об'єктів у потоці, яка при малих кінетичних енергіях об'єктів має реальний фізичний зміст. Згідно розв'язку задачі Герца, сила ударної взаємодії двох тіл при пружному контакті:

$$P_p = k_{ij} a_{ij} u_{ij}^{1,5} = k_{ij} u_{ij}^{1,5} / (K_i + K_j)^{0,5}, \quad (1)$$

де  $k_{ij}$  - коефіцієнт, що враховує пружні властивості тіла контакту;  $u_{ij}$  - величина жорсткого зближення в контактній задачі Герца;  $a_{ij}$  - розрахунковий радіус площадки контакту,  $K_i$  та  $K_j$  середні кривини поверхонь кожного із об'єктів в точці контакту.

На виділений  $i$ -ий рухомий об'єкт у загальному випадку діють такі сили: зовнішні потенціальні (сили земного тяжіння  $G_i$ ); зовнішні від взаємодії з  $j$ -им об'єктом, які моделюються силами  $P_{ij}$  та  $F_{ij}$  у кожній  $n_{ij}$ - контактній зоні; сили інерції -  $m_i a_i$  направлені протилежно вектору прискорення, а також відповідні моменти від вказаних сил  $M_p$  та  $M_F$ , моменти вертіння від обертового руху частинки в точці контакту  $T_{ij}$  і моменти інерцій. У векторній формі рівняння руху чи рівняння Лагранжа 1 роду мають вигляд:

$$\sum_{j=1}^k (\bar{P}_{ij} + \bar{F}_{ij}) - m_i \bar{a}_i + \bar{G}_i = 0; \quad \sum_{j=1}^k [(\bar{r}_{ij}^{\wedge} + \bar{\delta}_{ij}^{\wedge}) \times (\bar{P}_{ij}^{\wedge} + \bar{F}_{ij}^{\wedge})] + \sum_{j=1}^k T_{ij}^{\wedge} - \bar{L}_{oi}^{(e)} = 0, \quad (2)$$

де  $\bar{P}_{ij}$  та  $\bar{P}_{ij}^{\wedge}$  - вектори нормальних сил пружної взаємодії за моделлю Герца, задані відповідно в загальній та власній системах координат;  $\bar{F}_{ij}$  та  $\bar{F}_{ij}^{\wedge}$  - відповідно вектори тангенціальних сил;  $\bar{r}_{ij}$  та  $\bar{r}_{ij}^{\wedge}$  - відповідно радіуси-вектори  $ij$ -ої зони;  $m_i$ ,  $\bar{a}_i$  та  $\bar{G}_i$  - маса, прискорення та сила тяжіння  $i$ -го об'єкту;  $\bar{\delta}_{ij}^{\wedge} = \bar{F}_{ij}^{\wedge} \nu_i / (4a_{ij} G_i)$  - тангенціальне зміщення площадки контакту від сили  $\bar{F}_{ij}^{\wedge}$ ;  $\bar{L}_{oi}^{(e)}$  - векторна сума моментів сил.

Із даної системи визначалися проекції векторів  $\bar{a}$  та  $\bar{L}^{(e)}$ , що в подальшому дало змогу за відомими значеннями координат та швидкостей частинки в момент часу  $t_1$  визначити складові вектора швидкостей та, відповідно, розміщення частинки в наступний момент часу  $t_2 = t_1 + \Delta t$ .

За даним алгоритмом розроблена програма для реалізації імітаційного моделювання взаємодії розподілених частинок у потоці між собою та з робочими поверхнями.