

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В НЕГОЛОНОМНІЙ МОДЕЛІ КУЛЬОВОГО МЛИНА

¹Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

²Національний аерокосмічний університет ім. М.Е. Жуковського
“Харківський авіаційний інститут”

Анотація

Створено неголономну математичну модель динамічних процесів у кульовому млині. Диференціальні рівняння руху кулі в сферичній оболонці, що робить круговий поступальний рух, отримані у формі рівнянь Аппеля. При записі функції прискорень використані квазішвидкості. Запропоновано алгоритм перетворення рівнянь Аппеля до диференціальних рівнянь першого порядку у формі Коші. Проведені розрахункові дослідження дозволили встановити важливі закономірності функціонування пристрою.

Ключові слова: кульовий млин, динамічний процес, неголономна математична модель, рівняння Аппеля, квазішвидкість.

У багатьох областях виробництва поширення отримали **кульові млини** [1]. Їх використання, зокрема, веде до зниження витрат і підвищення продуктивності при виготовленні будівельних матеріалів.

Доповідь присвячена результатам досліджень по розробці універсальної математичної моделі динамічних процесів у новій конструкції кульового млина [2] для визначення технологічних якостей пристрою, вибору його раціональних параметрів. Запропонована схема (рис. 1) виключає ударний режим і “мертву зону” [1]. Прийняті наступні позначення: 1 – нерухома опора; 2 – вал; 3, 6 – зубчасте колесо; 4 – ведуче зубчасте колесо; 5 – привод відносного обертання; 7 – рама (вал); 8 – привод обертання; 9, 15 – кривошип; 10 – платформа (здійснює круговий поступальний рух); 11 – кришка; 12 – куля; 13 – оболонка; 14 – матеріал (клинкер).

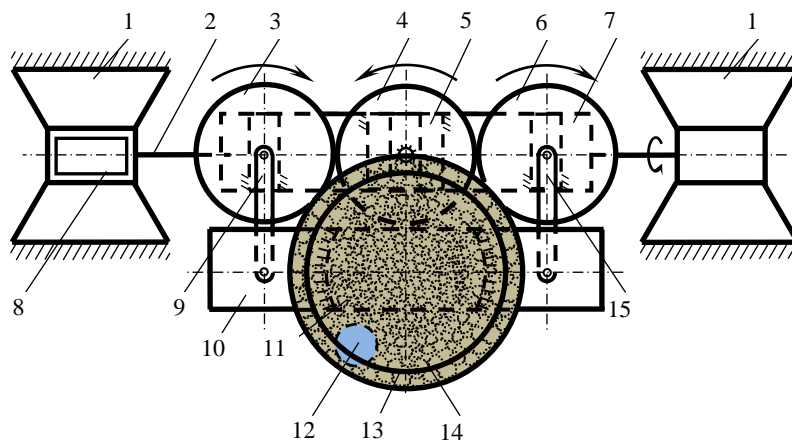


Рис. 1. Схема кульового млина (вид зверху)

В сферичній оболонці, яка закріплена на платформі, знаходиться куля, що є робочим тілом млина; куля під час руху оболонки обкатує її внутрішню поверхню, руйнуючи і стираючи цементну чи іншу сировину.

Схема для моделювання руху кулі радіусом r у сферичній камері із центром у точці A і радіусом R , що робить заданий круговий поступальний рух, показана на рис. 2, а (P – точка торкання кулі зі сферичною поверхнею).

1. Створено математичну модель динамічних процесів у кульовому млині: отримані диференціальні рівняння руху кулі в сферичній оболонці, на яку накладені **неголономні** в'язі, у формі **рівнянь Аппеля** з використанням **квазішвидкостей**.

2. Запропоновано алгоритм перетворення рівнянь Аппеля до диференціальних рівнянь першого порядку у формі Коші.

3. Проведені розрахункові дослідження динамічних процесів дозволили встановити важливі закономірності функціонування пристрою, наприклад, залежність властивостей “кільця” траєкторій (*каустик*) від кутової швидкості кривошипа.

На рис. 2, б наведено характерні залежності координат точки торкання кулі і сфери для моделі з параметрами: $r = 0,025\text{ м}$; $R = 0,25\text{ м}$; $l = 0,5\text{ м}$ – довжина кривошипа; $n_0 = 60\text{ хв}^{-1}$ – стала частота обертання кривошипа.

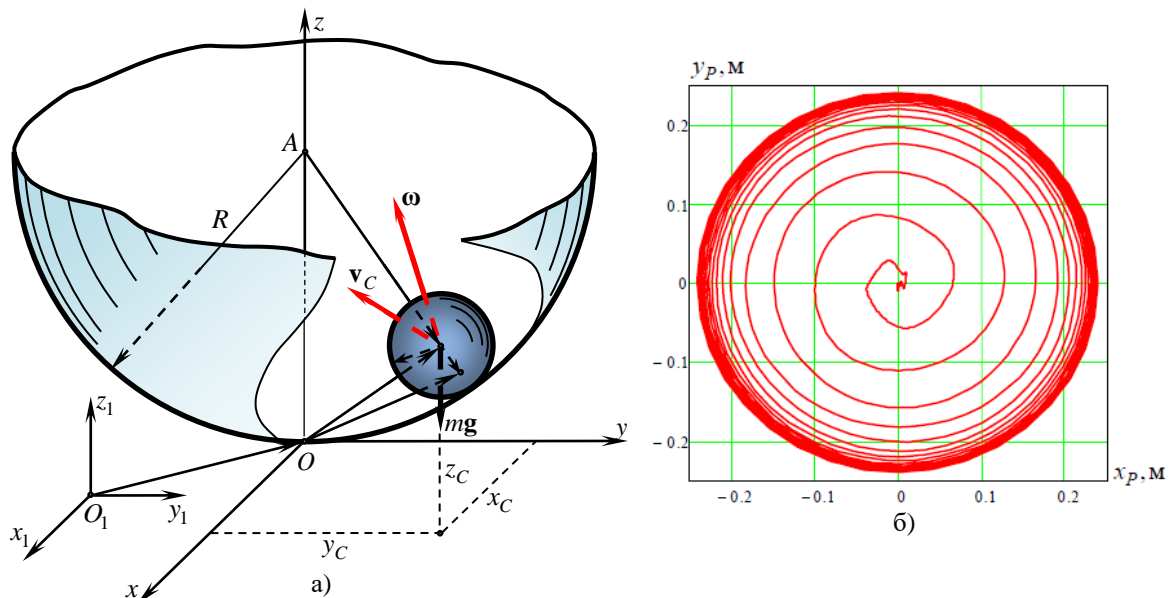


Рис. 2. Кульовий млин: а) – схема для моделювання руху кулі в сферичній камері; б) – траєкторія руху точки контакту кулі і сфери в проекції на площину Oxy

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Балера Н.Д. Комплекс для тонкого измельчения материалов / Н.Д. Балера, А.Т. Гордиенко, С.А. Касай // Научный вестник строительства.– 2017.– Т. 89, № 3.– С. 248-252.
2. Шатохин В.М. К динамике роторной резонансной шаровой мельницы с одним шаром и двумя степенями свободы / В.М. Шатохин, Н.И. Деревянко, Б.Ф. Гранько, М.В. Клименко // Научный вестник строительства. – Харьков: ХНУБА – 2018.– № 2 (92).– С. 241-244.

Шатохин Володимир Михайлович – д.т.н., проф., проф. кафедри теоретичної і будівельної механіки, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків, shatokhinvlm@gmail.com.

Соболь Володимир Миколайович – к.т.н., доц. кафедри теоретичної механіки, машинознавства та роботомеханічних систем, Національний аерокосмічний університет ім. М.Е. Жуковського “Харківський авіаційний інститут”, м. Харків, sobol_vn@ukr.net.

Simulation of dynamic processes in a nonholonomic ball mill model

Abstract

A nonholonomic mathematical model of dynamic processes in a ball mill has been created. Differential equations of motion of a ball in a spherical shell that performs circular translational motion are obtained in the form of the Appel equations. When writing the acceleration function, quasi-velocities were used. An algorithm for converting the Appel equations into first-order differential equations in the Cauchy form is proposed. The computational studies carried out made it possible to establish important regularities in the operation of the device.

Keywords: ball mill, dynamic process, nonholonomic mathematical model, Appel equations, quasi-velocity.

Shatokhin Volodymyr M. – Doct. of Sciences, Professor, Professor of the department of Theoretical and Structural mechanics, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, shatokhinvlm@gmail.com.

Sobol Volodymyr M. – Ph.D., Associate Professor of the department of Theoretical Mechanics, Engineering and Robomechanical Systems, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, sobol_vn@ukr.net.