УДК 621.926.5

В.М. Шатохін[1],
Б.Ф. Гранько[1],
Є.А. Яковлєв[2],
З.В. Гончарова[2]

ДИНАМІЧНІ ПРОЦЕСИ В НЕГОЛОНОМНІЙ МОДЕЛІ КУЛЬОВОГО МЛИНА

[1]Харківський національний університет будівництва та архітектури
[2]Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

Анотація
Розроблена математична модель динамічних процесів в неголономній моделі кульового млина. Диференціальні рівняння руху кулі в сферичній оболонці записані у формі рівнянь Аппеля з використанням квазішвидкостей; запропонований алгоритм їх перетворення до диференціальних рівнянь першого порядку у формі Коші. Викладені результати досліджень динамічних процесів в конкретному пристрої.
Ключові слова: *кульовий млин, математична модель, рівняння Аппеля, квазішвидкість, динамічний процес.*

Кульові млини отримали широке поширення для різних цілей у багатьох областях виробництва. Зокрема, їх використання веде до зниження витрат і підвищення продуктивності при виготовленні будівельних матеріалів. Поширення одержали трубні кульові млини, для яких характерні ударний режим, «мертва зона» для частини оброблюваної сировини [1].

Доповідь присвячена викладу результатів досліджень по розробці математичної моделі динамічних процесів у новій моделі кульового млина [2] (рис. 1, а): 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; 11 – кришка; 12 – куля; 13 – оболонка; 14 – матеріал (клінкер). Пропонована схема виключає ударний вплив і «мертву зону». Створення методів раціонального вибору параметрів пристрою є актуальна задача.

Розрахункова схема руху кулі радіусом r у сферичній камері із центром у точці A і радіусом R, яка робить заданий поступальний рух показана на рис. 1, б.

Диференціальні рівняння руху кулі в сферичній оболонці записані у формі ***рівнянь Аппеля*** з використанням ***квазішвидкостей***.

Деякі результати розрахунків за допомогою комп'ютерної програми, яка створена засобами математичного пакета MathCAD, представлені на рис. 1, в, г. Наведено характерні залежності координат точки торкання кулі і сфери для моделі з параметрами: $r = 0{,}025$м; $R = 0{,}25$м; $l = 0{,}5$м – довжина кривошипа; $n_0 = 60$хв$^{-1}$ – стала частота обертання кривошипа.

1. Створено математичну модель динамічних процесів у кульовому млині: отримані рівняння рух кулі в сферичній оболонці, що робить круговий поступальний рух.
2. Диференціальні рівняння руху записані у формі рівнянь Аппеля; при записі функції прискорень виявилося ефективним використовувати квазішвидкості.
3. Запропоновано алгоритм перетворення рівнянь Аппеля до диференціальних рівнянь першого порядку у формі Коші.
4. Проведені розрахункові дослідження динамічних процесів за допомогою створеної моделі дозволили встановити важливі закономірності пристрою, наприклад, залежність властивостей «кільця» траєкторій (***каустик***) від кутової швидкості кривошипа.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Балера Н.Д. Комплекс для тонкого измельчения материалов / Н.Д. Балера, А.Т. Гордиенко, С.А. Касай // Науковий вісник будівництва. – 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 // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА – 2018. – № 2 (92). – С. 241-244.

Шатохін Володимир Михайлович, д.т.н., проф., проф. кафедри будівельної та теоретичної механіки, Харківський національний університет будівництва та архітектури, м. Харків, shatokhinvlm@gmail.com,
Гранько Борис Федорович, доц., доц. кафедри будівельної та теоретичної механіки, Харківський національний університет будівництва та архітектури, м. Харків, grankoa.b@gmail.com,
Яковлєв Євген Андрійович, к.т.н., доц., проф. кафедри механіки ґрунтів, фундаментів, та інженерної геології, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків, evgen.yakovlev647@gmail.com,

Гончарова Зоя Вікторівна, к.е.н., доц., доц. кафедри управління проектами в міському господарстві і будівництві, Харківський національній університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків, zoya_g@ukr.net.

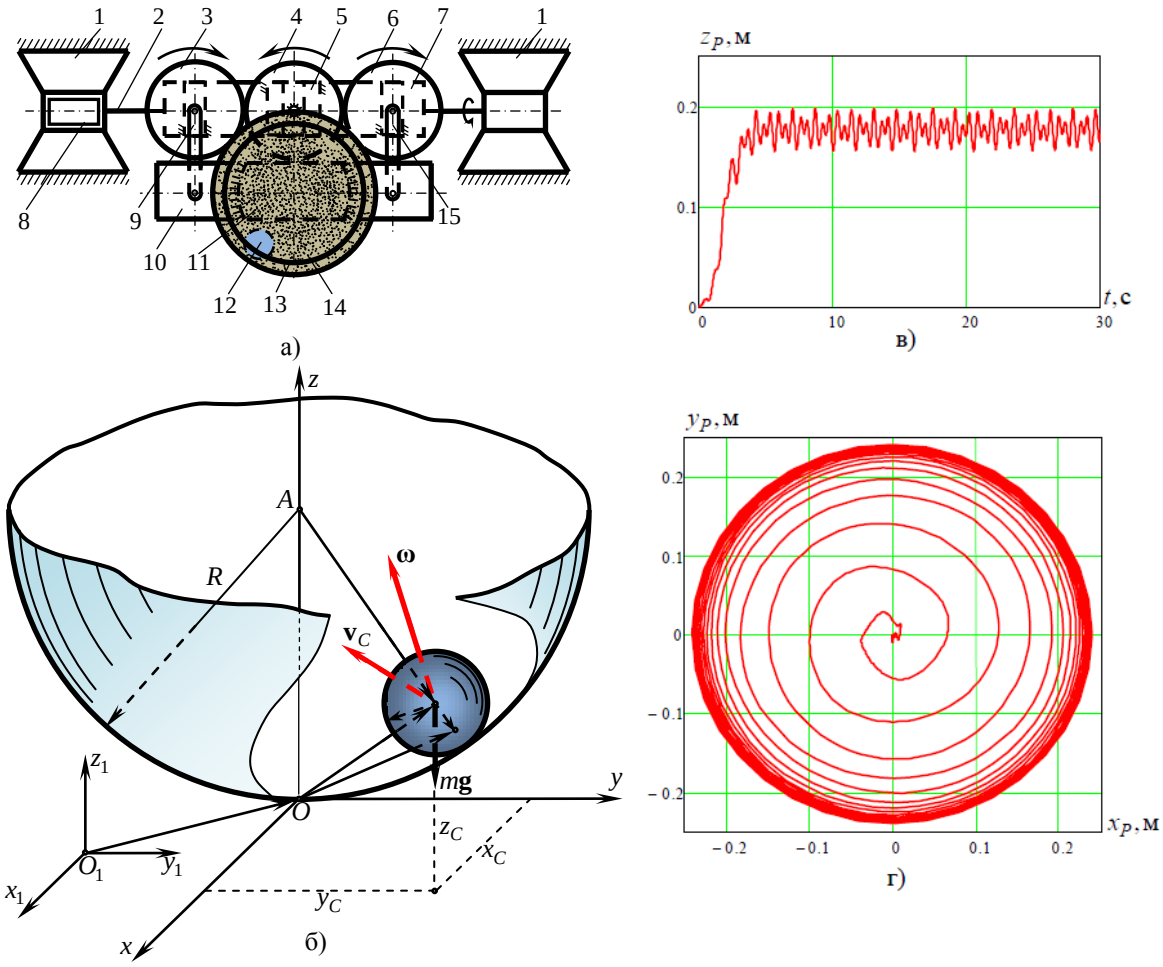

Рисунок 1 – Кульовий млин: а) – схема кульового млина (вигляд у плані);
б) – схема руху кулі в сферичній камері; в) – залежність z_p від часу;
г) – траєкторія руху точки контакту кулі і сфери в проекції на площину Oxy

DYNAMIC PROCESSES ARE IN THE NONHOLONOMIC MODEL OF BALL MILL

Abstract

The mathematical model of dynamic processes is worked out in the nonholonomic model of ball mill. Differential equations of motion of ball in a spherical shell are writtenin in form equations of Appell with the use of quasi-velocities; the algorithm of their transformation offers to differential equations of first-order in form Cauchy. The results of researches of dynamic processes are expounded in a certain device.

Keywords: *ball mill, mathematical model, equations of Appell, quasi-velocities, dynamic process.*

Shatokhin Vladimir, Doct. of Sciences, Professor, Professor of department of structural and theoretical mechanics, Kharkov National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkov, shatokhinvlm@gmail.com,

Granko Boris, Associate Professor, Associate Professor of department of structural and theoretical mechanics, Kharkov National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkov, grankoa.b@gmail.com,

Yakovlev Evgen, Ph.D., Associate Professor, Professor of department of Soil Mechanics, Foundations and Engineering Geology, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkov, evgen.yakovlev647@gmail.com.

Honcharova Zoia, Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of department of Project Management in Municipal Economy and Construction, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkov, zoya_g@ukr.net