

УДК 621.9

ПАНАСЮК І.В., ЗАЛЮБОВСЬКИЙ М.Г.
Київський національний університет технологій та дизайну
**ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ РЕЖИМУ РУХУ РОБОЧОГО
СЕРЕДОВИЩА У ЄМКОСТІ ЗІ СКЛАДНИМ РУХОМ ВІД КУТОВОЇ
ШВИДКІСТІ ВЕДУЧОГО ВАЛУ**

Мета. *Визначення взаємозв'язку між кутовою швидкістю ведучого валу машини та режимами руху сипкого робочого середовища в робочій ємкості машини для змішування та обробки деталей.*

Методика. *Проведено 3D моделювання та кінематичний аналіз машини зі складним рухом робочої ємкості в САПР SolidWorks, застосовано методи швидкісної відеозйомки руху сипкого робочого середовища крізь прозорі стінки робочої ємкості за допомогою двох відеокамер, встановлених у взаємоперпендикулярних площинах.*

Результати. *На основі 3D моделювання та кінематичного аналізу в САПР SolidWorks визначено деякі кінематичні параметри машини, на основі аналізу відеозаписів підтверджено теоретичні припущення щодо визначення впливу кутової швидкості ведучого валу машини на характер руху сипкого робочого середовища.*

Наукова новизна. *Теоретично встановлено та експериментально підтверджено закономірності впливу кутової швидкості ведучого валу машини на зміну режимів руху сипкого робочого середовища.*

Практична значимість. *Встановлена відповідність між режимами руху сипкого робочого середовища та кутовою швидкістю ведучого валу машини дозволяє раціонально використовувати машину для різних процесів обробки деталей та процесів змішування.*

Ключові слова: *каскадний, водоспадний режими руху сипкого середовища.*

Вступ. Відомо три режими руху сипкого середовища в робочій ємкості: каскадний, водоспадний та змішаний, в свою чергу змішаний можна розділити на каскадно-водоспадний та водоспадно-каскадний, в залежності від того який режим руху є домінуючим. Кожен режим руху сипкого середовища відповідає певному типу обробки деталей. Так, попередніми дослідженнями встановлено [1], що для зачишувальної обробки оптимальним є каскадний режим, для процесів змішування - водоспадний. Встановлення залежності між кутовою швидкістю ведучого валу машини та режимами руху сипкого робочого середовища є актуальною задачею для різних галузей промисловості де використовується дана машина.

При підборі відповідних режимів роботи машини, які необхідні для виконання якісних процесів змішування речовин та обробки деталей, практично відсутні необхідні настанови, щодо раціонального вибору кутової швидкості ведучого валу машини, яка безпосередньо впливає на зміну режимів руху сипкого середовища, інтенсивність обробки деталей.

Аналіз опублікованих робіт [2] щодо дослідження впливу різних факторів на зміну режимів руху сипкого робочого середовища, при роботі машини зі складним

рухом робочої ємкості показав, що така інформація висвітлена поверхнево, в той же час, достатньо добре викладено інформацію щодо опису самих режимів руху сипкого середовища.

Постановка завдання. Завдання дослідження полягає у визначення взаємозв'язку між кутовою швидкістю ведучого валу машини та режимами руху сипкого робочого середовища в робочій ємкості машини для змішування та обробки деталей.

Результати дослідження. Основними факторами, котрі впливають на взаємозв'язок між кутовою швидкістю ведучого валу машини та режимом руху сипкого робочого середовища є: кутова швидкість ведучого валу машини, сумарна маса робочого середовища, повні прискорення характерних точок робочої ємкості, динамічний фактор, який полягає у значенні сили, яка впливає на характер руху сипкого робочого середовища.

Теоретичне визначення взаємозв'язку між кутовою швидкістю ведучого валу машини та характером руху робочого сипкого середовища почнемо із кінематичного дослідження, яке базується на встановленні залежності між кутовою швидкістю ведучого валу машини та максимальними значеннями прискорень характерних точок робочої ємкості, яка має форму циліндричного барабану.

Кінематичне дослідження проведено за допомогою САПР SolidWorks в розділі SolidWorks Motion. Для цього, в САПР SolidWorks виконаємо модель машини з наступними геометричними параметрами: довжина робочої ємкості (циліндричного барабану) - 140 мм, діаметр робочої ємкості - 124 мм, міжосьова відстань робочої ємкості - 100 мм.

Модель машини для змішування та обробки деталей представлена на рис.1.

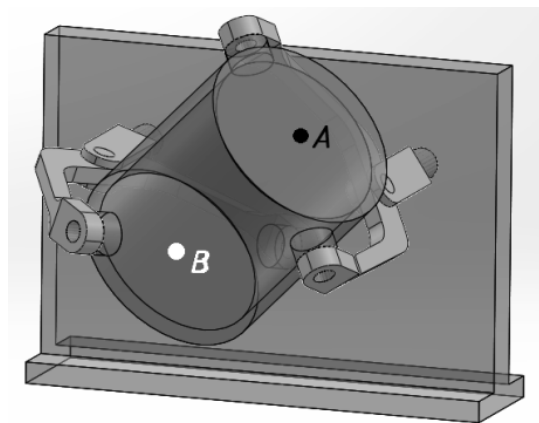


Рис.1. Модель машини для змішування та обробки деталей.

Визначимо повні значення максимальних прискорень характерних точок робочої ємкості А та В для відповідної, наперед заданої кутової швидкості ведучого валу машини.

На рис. 2 представлено залежність між кутовою швидкістю ведучого валу машини та максимальними значеннями повних прискорень характерних точок А та В.

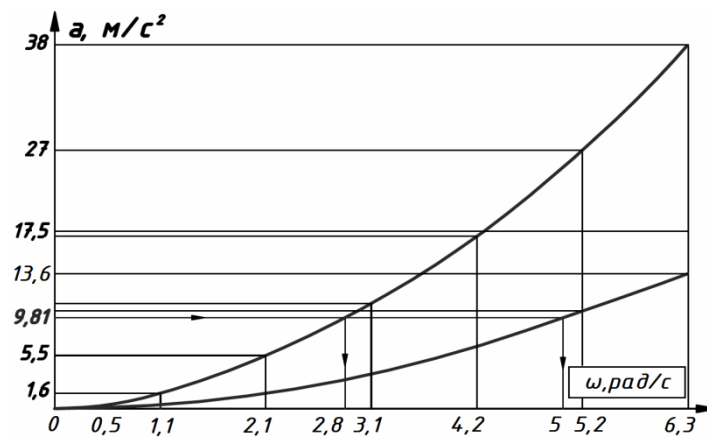


Рис.2. Залежність між кутовою швидкістю ведучого валу машини та максимальними значеннями повних прискорень характерних точок А та В.

З рис.2 видно, що максимальні значення прискорень точок А та В, при однаковій кутовій швидкості ведучого валу машини, відрізняються між собою. В зв'язку з різницею максимальних значень прискорень точок А та В, спостерігається явище, при якому виникає різна інтенсивність руху робочого середовища в робочій ємкості.

Далі необхідно взаємопов'язати значення прискорень характерних точок робочої ємкості з режимами руху сипкого робочого середовища. Оскільки режими руху сипкого робочого середовища не мають кількісної характеристики, пов'яжемо їх зі значенням діючої сили, яка впливатиме на характер руху сипкого робочого середовища.

Аналізуючи сили, які діють на частинку середовища припустимо, що її відрив від поверхні масиву, або стінки ємкості можливий за умови перевищення силою інерції сили тяжіння. Таким чином прискорення відносного руху має бути більшим за $9,81\text{ м/с}^2$.

Тобто, логічно припустити, що у випадках, як тільки максимальні значення прискорень точок А та В почнуть перевищувати значення прискорення вільного падіння, то почнуть проявлятися ознаки водоспадного режиму руху сипкого середовища. У випадках, коли значення прискорень точок А та В будуть меншими за значення прискорення вільного падіння, то тіло з відповідною масою не матиме можливості відірватися від опорної поверхні, а лише буде перекочуватися або проковзувати по ній під дією власної сили тяжіння, так спостерігатиметься каскадний режим руху робочого сипкого середовища.

Саме тому, необхідно визначити при яких значеннях кутової швидкості ведучого валу машини, значення прискорень характерних точок А та В будуть рівними прискоренню вільного падіння. Для цього скористаємося залежністю, яка представлена на рис.2. Таким чином, встановлено відповідні граничні значення кутової швидкості ведучого валу машини в 2,8 та 5 рад/с, при перевищенні яких відбуватиметься зміна каскадного режиму руху сипкого робочого середовища на водоспадний, при його русі у відповідних частинах робочої ємкості.

Значення діючої сили для сипкого середовища визначається, як значення сил, які діють на сипке середовище під час його розміщення у відповідних точках робочої

ємкості. Таким чином, розглядатиметься маса не однієї окремої частинки, а сумарна маса оброблюваного сипкого середовища, яке знаходиться в робочій ємкості.

Розглянемо випадок, для маси оброблюваного сипкого середовища, яка становитиме $m=0,65\text{кг}$ та оброблятиметься в робочій ємкості, яка має форму циліндричного барабану, при поєднанні усіх вищевказаних її геометричних параметрів.

Так, отримуємо залежність діючої сили, що задаватиме режим руху сипкого середовища відповідної маси від максимальних значень прискорень точок А та В робочої ємкості: $\bar{F} = m\bar{a}$ (1) В табл.1 представлено залежність між прискоренням точок А та В та значенням діючої сили F_d , що задаватиме характер руху сипкого середовища.

Таблиця 1

Залежність між прискоренням точок А та В та значенням діючої сили F_d

Кутова швидкість валу, ω , [рад/с]	Сумарна маса сипкого середовища, m , [кг]	Максимальне прискорення в точці А \bar{a}^A , [м/с ²]	Максимальне прискорення в точці В \bar{a}^B , [м/с ²]	Значення F_d для точки А \bar{F}_d^A , [Н]	Значення F_d для точки В \bar{F}_d^B , [Н]
0,52	0,65	0,09	0,4	0,06	0,26
1,05	0,65	0,38	1,6	0,25	1,04
2,1	0,65	1,5	5,5	0,98	3,6
3,1	0,65	3,5	10,8	2,3	7
4,2	0,65	6,2	18,3	4,0	11,9
5,2	0,65	9,5	27,6	6,2	17,9
6,3	0,65	13,6	38,2	8,8	24,8

Значення діючої сили, аналогічно до значень прискорень точки А та точки В, відрізняються між собою. Значенню прискорення вільного падіння відповідає значення граничної діючої сили в 6,4Н, яка впливатиме на характер руху сипкого середовища.

Далі співставимо значення кутової швидкості ведучого валу машини з відповідними значеннями діючих сил, скориставшись при цьому, попередньо визначеною залежністю між кутовою швидкістю ведучого валу та прискореннями відповідних характерних точок робочої ємкості.

На рис.3 представлено графік залежності між кутовою швидкістю ведучого валу машини та значенням діючих сил.

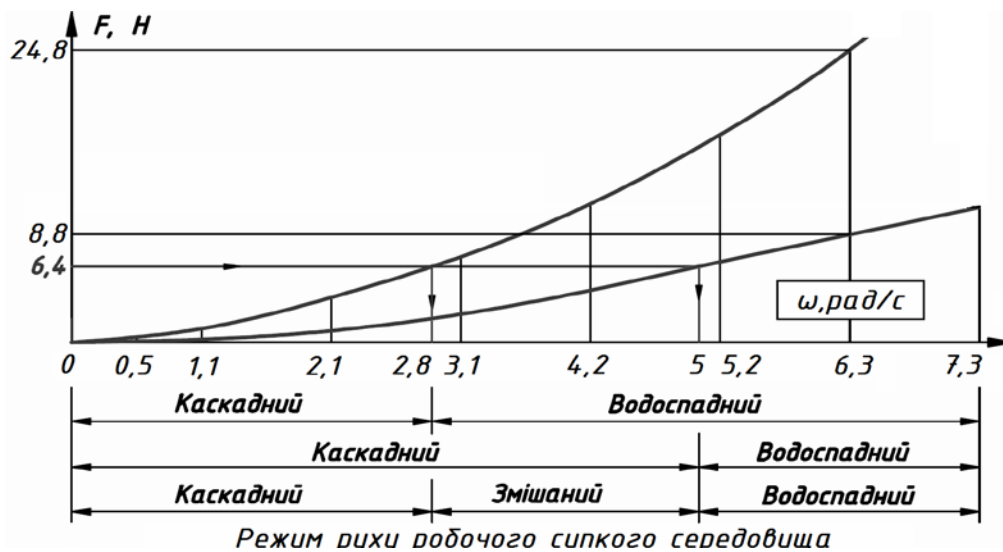


Рис.3. Графік залежності між кутовою швидкістю ведучого валу машини та значенням діючих сил

Для того, щоб визначити в яких межах частоти обертання ведучого валу машини спостерігатиметься відповідний режим руху сипкого середовища масою m в робочій ємкості, скористаємося залежністю, яка представлена на рис.3.

У відповідності з розподілом вісі абсцис, після того, як на неї було спроектовано граничне значення діючої сили, є можливість виокремити режими руху робочого сипкого середовища в залежності від місця розташування оброблюваного середовища в робочій ємкості.

Встановимо загальний режим руху сипкого середовища масою m в робочій ємкості. Таким чином, до кутової швидкості ведучого валу машини в 2,8 рад/с, режим руху сипкого середовища в робочій ємкості буде повністю каскадним, в межах кутової швидкості ведучого валу від 2,8 до 5 рад/с режим руху сипкого середовища матиме змішаний характер. Після перевищення кутової швидкості ведучого валу машини в 5 рад/с спостерігатиметься водоспадний режим руху сипкого середовища.

Граничні значення кутової швидкості ведучого валу машини, при яких відбуватиметься перехід від каскадного до водоспадного режиму руху сипкого робочого середовища встановлено завищеними, в зв'язку з тим, що сумарна маса сипкого робочого середовища розглядалася як маса єдиного матеріального тіла. Тобто, встановлене значення граничної діючої сили було необхідним для того, щоб силу земного тяжіння пододала не одна окрема частинка, а матеріальне тіло масою, яка еквівалентна сумарній масі частинок. При переході від каскадного до водоспадного режиму руху, в першу чергу відриватися від загальної маси починають частинки, котрі розташовані у верхньому шарі цього сипкого робочого середовища. Маса верхнього шару сипкого робочого середовища є значно меншою від сумарної маси сипкого середовища (маси усіх частинок), а отже, для перших проявів каскадного режиму руху сипкого середовища необхідним буде значно менше значення діючої сили, а як наслідок, менша кутова швидкість ведучого валу машини.

Припустимо, що каскадним режим руху вже не вважатиметься, а стане змішаним каскадно-водоспадним, в тому випадку, якщо від загальної маси сипкого середовища відділиться така кількість частинок, яка відповідатиме 50% від сумарної маси. Маса верхнього шару сипкого робочого середовища для 50% від сумарної маси:

$$m_{вш} = m \cdot 0,5 = 0,33кг$$

Далі, визначимо граничне значення діючої сили, при перевищенні якого, каскадний режим руху стане змішаним каскадно-водоспадним:

$$F = m_{вш} \bar{a} = 0,33 \cdot 9,81 = 3,2Н$$

Таким чином, можна встановити дійсну залежність між кутовою швидкістю ведучого валу та режимами руху сипкого середовища, яка представлена в табл.2.

Таблиця 2

Залежність між кутовою швидкістю ведучого валу та режимами руху сипкого середовища

Кутова швидкість ведучого валу, ω , [рад/с]	Режим руху сипкого середовища масою m в робочій ємкості
0 - 1,98	Каскадний
1,98 - 2,8	Змішаний (каскадно-водоспадний)
2,8 - 3,7	Змішаний (водоспадно-каскадний)
3,7 <	Водоспадний

Режими руху сипкого середовища в робочій ємкості в залежності від кутової швидкості ведучого валу машини не мають чіткої градації, в зв'язку з тим, що перехід від одного режиму руху до іншого відбувається плавно та поступово, а отже граничні кутові швидкості ведучого валу машини не мають чітких меж, а вищепредставлена градація кутової швидкості ведучого валу машини для відповідних режимів руху, при різних значеннях маси сипкого середовища, є справедливою лише для машини з вищевизначеними її геометричними параметрами.

Усі вищевказані гіпотетичні припущення перевірені експериментальним методом, за допомогою лабораторної установки. А саме: робоча ємкість була заповнена частинками однакової форми та розміру на 30% сумарною масою 0,65 кг. Дослідження режимів руху сипкого робочого середовища в циліндричному барабані проводилося при кутовій швидкості ведучого валу машини від 1,1 до 6,3 рад/с. *Застосовано методи швидкісної відеозйомки руху сипкого середовища крізь прозорі стінки робочої ємкості за допомогою 2 відеокамер, встановлених у взаємоперпендикулярних площинах.* На основі сповільненого перегляду відеозаписів наочно встановлено залежність зміни режимів руху сипкого середовища від кутової швидкості ведучого валу машини.

При кутовій швидкості ведучого валу машини в 1,1 рад/с режим руху середовища був каскадним, часточки, під час переміщення, не відділялися одна від одної, а перекочувалися по поверхні барабану та одна по одній. Характер переміщення сипкого середовища при кутовій швидкості ведучого валу в 1,1 рад/с представлений на рис.4.

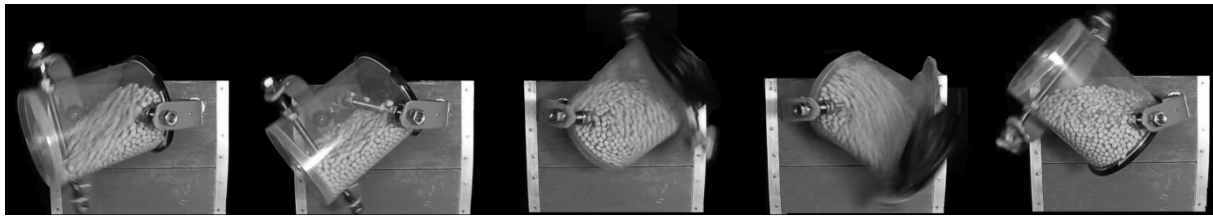


Рис.4. Характер переміщення сипкого середовища при кутовій швидкості ведучого валу в 1,1 рад/с.

При кутовій швидкості ведучого валу в 2,1 рад/с режим руху сипкого середовища, став змішаним (каскадно-водоспадним). При кутовій швидкості в 3,1 рад/с режим руху сипкого середовища був змішаний, але переважала водоспадна складова режиму руху. При збільшенні кутової швидкості до 4,2 рад/с режим руху сипкого середовища став майже повністю водоспадним. Характер переміщення сипкого середовища при кутовій швидкості ведучого валу в 4,2 рад/с представлений на рис.5.

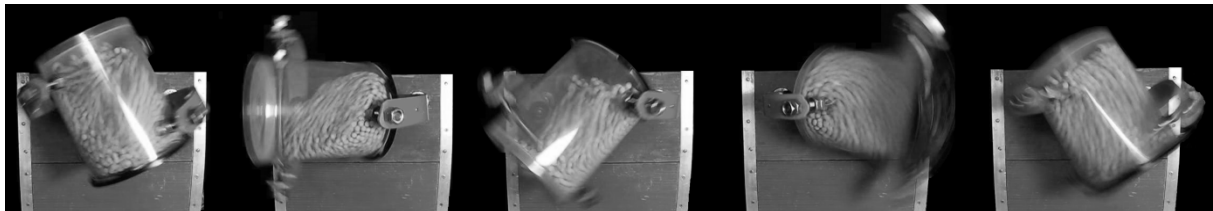


Рис.5. Характер переміщення сипкого середовища при кутовій швидкості ведучого валу в 4,2 рад/с.

При досягненні ведучим валом машини кутової швидкості в 6,3 рад/с режим руху середовища циліндричного барабану став повністю водоспадним.

Порівняємо теоретично встановлену градацію кутової швидкості ведучого валу машини, яка впливає на режим руху сипкого робочого середовища з експериментально візуально визначеною кутовою швидкістю (табл.3).

Таблиця 3

Порівняння теоретичної та експериментальної градації кутової швидкості ведучого валу

Розрахунково визначена кутова швидкість, ω , [рад/с]	Експериментально встановлена кутова швидкість, ω , [рад/с]	Режим руху сипкого середовища масою m в робочій ємкості
0 - 1,98	0 - 1,6	Каскадний
1,98 - 2,8	1,6 - 3,1	Змішаний (каскадно-водоспадний)
2,8 - 3,7	3,1 - 4,4	Змішаний (водоспадно-каскадний)
3,7 <	4,4 <	Водоспадний

Різниця між розрахунковими та експериментальними значеннями не перевищує 16%. Враховуючи те, що перехід від одного режиму руху до іншого відбувається плавно та поступово, і граничні кутові швидкості ведучого валу машини не матимуть чітких меж, такий результат необхідно вважати задовільним.

Висновки. Встановлено теоретичну та експериментальну залежність характеру та режимів руху сипкого середовища від кутової швидкості ведучого валу машини.

Список використаної літератури

1. Панасюк Ігор Васильович. Наукові основи проектування технологічних процесів обробки деталей взуття та фурнітури: автор. дис. д-ра техн. наук: 05.19.06 / КНУТД. -К., 2004.- 32 с.

2. Панасюк І.В. Експериментальне дослідження руху частинки сипкого середовища у робочій ємкості, що здійснює складний рух / І.В.Панасюк, М.Г.Залюбовський // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну – 2014. – №6.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ РЕЖИМА ДВИЖЕНИЯ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ В ЕМКОСТИ СО СЛОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ОТ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ ВЕДУЩЕГО ВАЛА

ПАНАСЮК И.В., ЗАЛЮБОВСКИЙ М.Г.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Определение взаимосвязи между угловой скоростью ведущего вала машины и режимами движения сыпучей рабочей среды в рабочей емкости машины для смешивания и обработки деталей.

Методика. Проведено 3D моделирование и кинематический анализ машины со сложным движением рабочей емкости в САПР SolidWorks, применены методы скоростной видеосъемки движения сыпучего рабочей среды сквозь прозрачные стенки рабочей емкости с помощью двух видеокамер, установленных в взаимоперпендикулярных плоскостях.

Результаты. На основе 3D моделирования и кинематического анализа в САПР SolidWorks определены некоторые кинематические параметры машины, на основе анализа видеозаписей подтверждено теоретические предположения по определению влияния угловой скорости ведущего вала машины на характер движения сыпучей рабочей среды.

Научная новизна. Теоретически установлено и экспериментально подтверждено закономерности влияния угловой скорости ведущего вала машины на смену режимов движения сыпучей рабочей среды.

Практическая значимость. Установленное соответствие между режимами движения сыпучей рабочей среды и угловой скоростью ведущего вала машины позволяет рационально использовать машину для различных процессов обработки деталей и процессов смешивания.

Ключевые слова: каскадный, водопадный режимы движения сыпучей среды.

THE DEFINITION DEPENDENCE OF THE MODE OF MOVEMENT OF THE WORKSPACE IN THE CAPACITY WITH A COMPLEX MOVEMENT FROM ANGULAR VELOCITY OF THE DRIVE SHAFT

PANASJUK I., ZALJUBOVSKIY M.

Kiev National University of Technology and Design

Purpose. Definition of the relationship between the angular velocity of the drive shaft of the machine and the modes of the granular fluid in the working capacity of the machine for mixing and processing details.

Methodology. Conducted 3D modeling and kinematic analysis of the machine with a complex movement of the working capacity in CAD SolidWorks, applied methods of high-speed video of the granular fluid through the transparent walls of the working capacity by using two cameras mounted in mutually perpendicular planes.

Findings. On the basis of the 3D modeling and kinematic analysis of CAD SolidWorks identified some kinematic parameters of the machine, on the basis of analysis of video recordings confirmed the theoretical assumptions to determine the influence of the angular velocity of the drive shaft of the machine on the nature of the granular fluid.

Originality. Theoretically found and experimentally validated established patterns of influence of the angular velocity of the drive shaft of the machine to change the mode of the granular fluid.

Practical value. The installed of modes of the granular fluid and the angular velocity of the drive shaft of the machine allows efficient use of the machine for different processes and machining processes mixing.

Keywords: *cascade, waterfall modes of the granular fluid.*