

УДК 631.312:514.18

ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ ЧАСТИНКИ У ВІДЦЕНТРОВОМУ АПАРАТІ З ВЕРТИКАЛЬНИМИ ЛОПАТКАМИ ЗА ДОПОМОГОЮ РУХОМОЇ СИСТЕМИ КООРДИНАТ

Воліна Т. М., к.т.н.*,

t.n.zaharova@ukr.net, ORCID: 0000-0001-8610-2208

Пилипака С. Ф., д.т.н.,

psf55@ukr.net, ORCID: 0000-0002-1496-4615

Національний університет біоресурсів і природокористування України
(Київ, Україна).

Відцентрові апарати для поділу різних середовищ широко поширені у хімічній, фармацевтичній, харчовій та інших промисловостях. Апарати відцентрового типу можуть мати робочі органи різних конструкцій. Форма робочих органів апаратів та їх конструктивні параметри впливають на кінематичні характеристики руху матеріалу. Отже, дослідження законів руху матеріальної частинки вздовж робочих органів різної форми та конструктивних параметрів дає можливість вдосконалити конструкцію апарату.

У статті досліджуються параметри руху частинки в відцентровому розсіювальному пристрої, який є конічним диском зі зрізаним дном і вертикально встановленими прямолінійними лопатками, за допомогою рухомої системи координат, яка обертається разом з диском із заданою кутовою швидкістю навколо вертикальної осі.

Оскільки вершина рухомої системи координат описує коло, така система може бути прийнята за супроводжуючий тригранник Френе, широко відомий у диференціальній геометрії. Це дозволяє знаходити складові абсолютного прискорення частки у проекціях на орти тригранника. Для цього необхідно двічі продиференціювати векторне рівняння руху частинки з використанням відомих формул Френе.

Крім того, прикладені до частки сили мають у системі тригранника постійний напрямок, який не залежить від його обертання. Усе це дозволяє спростити складання диференціальних рівнянь у проекціях на орти тригранника.

У статті складено та вирішено чисельними методами систему диференціальних рівнянь руху частинки. Знайдено кінематичні характеристики та закономірності руху частинки по конічній поверхні. Аналітичний опис руху частинки дає можливість дослідити її прискорення та знайти відносну та абсолютну швидкість в момент сходження з диска, а також дослідити вплив технологічних та конструктивних параметрів апарату на процес розгону частинки.

Ключові слова: диференціальні рівняння, тригранник Френе, кутова швидкість, радіус-вектор, прискорення.

Постановка проблеми. Апарати відцентрового типу можуть мати робочі органи різних конструкцій. Під час роботи такого апарату матеріальна частинка (МЧ) змушена ковзати вздовж його робочої поверхні. У той же час робоча поверхня обертається навколо вертикальної осі. Відцентрова сила викликає прискорення МЧ та рухає її до периферії поверхні. Крім того, такі апарати додатково укомплектовують вертикальними лопатками для збільшення швидкості розсіювання. МЧ змушена рухатись вздовж цих лопаток у радіальному напрямі. Звісно, форма робочих органів апаратів та їх конструктивні параметри впливають на кінематичні характеристики руху матеріалу. Отже, дослідження законів руху МЧ вздовж робочих органів різної форми та конструктивних параметрів дає можливість вдосконалити конструкцію апарату.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Багато наукових статей присвячено руху МЧ по поверхні. Технологічний матеріал складається з сукупності окремих частинок, а тому його рух є складнішим у порівнянні з рухом окремої МЧ [1], бо у такому випадку виникають сили інерції від обертання, які мають бути враховані. Таким чином, рух технологічного матеріалу не може бути замінено рухом окремої МЧ. Проте, залежності руху окремої МЧ можуть бути певною мірою перенесені на матеріал або ж дозволяють виявити напрям подальших досліджень.

Слід відзначити, що дослідження руху МЧ по поверхні у поєднанні з іншими дослідженнями є передумовою для моделювання розподілу рідин під час процесу інерційного фільтрування [2], взаємодії між деформованими елементами та потоком газ-рідина [3], інерційного розділення газодисперсійних потоків у криволінійних каналах компресорного обладнання [4] і навіть для технологічного забезпечення виготовлення складних деталей у машинобудуванні [5].

Виходячи з вищесказаного, для дослідження закономірностей руху МЧ по поверхні з заданими конструктивними параметрами, необхідно мати аналітичні залежності, які описують цей рух.

Формулювання цілей статті. Метою статті є дослідження закономірностей руху МЧ у відцентровому апараті у формі зрізаного конуса з плоским дном з вертикально встановленими прямолінійними лопатками за допомогою рухомої системи координат.

Основна частина. Відцентровий апарат складається зі зрізаного конуса з плоским дном і з вертикально встановленими у радіальному напрямі лопатками (рис. 1,а).

При обертанні апарата навколо осі OZ з кутовою швидкістю ω МЧ під дією відцентрової сили попадають на лопатку і далі рухаються вгору вздовж неї по прямій лінії перетину конуса і лопатки.

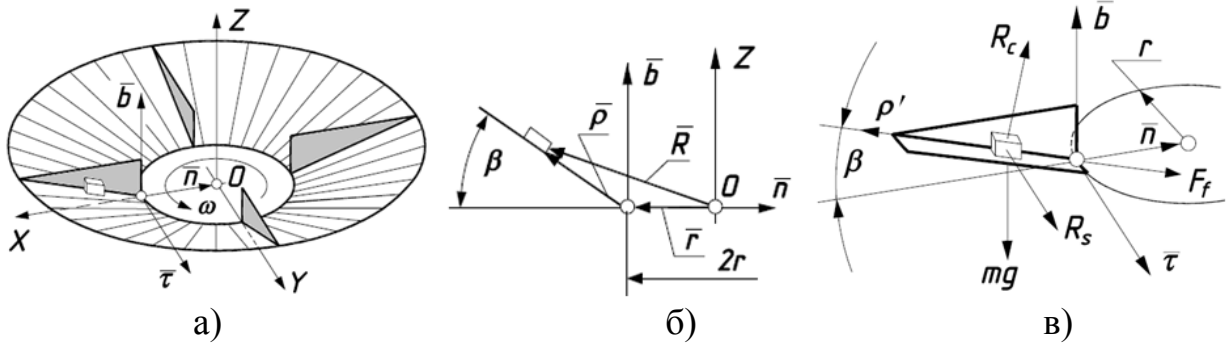


Рис. 1. До складання диференціальних рівнянь руху МЧ в системі тригранника Френе: а) схематичне зображення конструкції апарата з МЧ на ньому; б) схема до складання векторного рівняння положення МЧ; в) фрагмент конуса і лопатки та прикладені до МЧ сили

Для складання диференціальних рівнянь руху МЧ використаємо рухому систему координат $\bar{\tau}, \bar{n}, \bar{b}$ (рис. 1,а), початок координат якої збігається з нижньою точкою лопатки. При обертанні конічного диска рухома система обертається разом із ним і її початок описує коло радіуса r . У такому випадку рухому систему можна розглядати як супровідний тригранник Френе, який рухається по колу. Орт $\bar{\tau}$ тригранника спрямований по дотичній до кола, орт головної нормалі \bar{n} – до центра кола і орт бінормалі \bar{b} – перпендикулярно до перших двох (вертикально вгору). Абсолютний рух МЧ складатиметься з двох рухів: переносного руху тригранника і відносного руху МЧ в його системі. Нехай МЧ буде розташована на певній відстані ρ від вершини тригранника. Тоді її положення у векторному вигляді запишеться (рис. 1,б):

$$\bar{R} = \bar{r} + \bar{\rho}, \quad (1)$$

де \bar{R} – радіус-вектор положення МЧ в абсолютному русі, \bar{r} – радіус-вектор точки на кривій, в якій знаходиться вершина тригранника, $\bar{\rho}$ – радіус-вектор положення МЧ в системі тригранника.

Щоб знайти абсолютну швидкість руху МЧ, потрібно векторне рівняння (1) продиференціювати по часу t . Застосування тригранника Френе дає можливість використати формули Френе, широко відомі у диференціальній геометрії. Вони дозволяють просто знаходити похідні ортів тригранника в проекціях на ці ж орти. Однак у цьому випадку незалежною змінною має бути довжина дуги s – шляху, який проходить вершина тригранника, рухаючись по колу радіуса r . Приймаючи s за незалежну змінну, запишемо:

$$\frac{d\bar{R}}{dt} = \frac{d\bar{R}}{ds} \frac{ds}{dt} = V \frac{d\bar{R}}{ds}, \quad (2)$$

де $ds/dt = V$ швидкість руху тригранника по кривій, яка визначається через кутову швидкість ω обертання апарата: $V = \omega r$.

Розкладемо радіус-вектор $\bar{\rho}$ в проекціях на орти тригранника

(рис. 1,б). Тоді векторне рівняння (1) запишеться наступним чином:

$$\bar{R} = \bar{r} - \bar{n}\rho\cos\beta + \bar{b}\rho\sin\beta, \quad (3)$$

де $\rho = \rho(s)$ – відстань від початку координат тригранника до МЧ вздовж лінії відносного руху по твірній конуса. Ця відстань є невідомою функцією, залежною від s .

Диференціюємо радіус-вектор (3) по змінній s :

$$\frac{d\bar{R}}{ds} = \frac{d\bar{r}}{ds} - \cos\beta \left(\frac{d\bar{n}}{ds} \rho + \bar{n} \frac{d\rho}{ds} \right) + \sin\beta \left(\frac{d\bar{b}}{ds} \rho + \bar{b} \frac{d\rho}{ds} \right). \quad (4)$$

Похідні $\frac{d\bar{r}}{ds}$, $\frac{d\bar{\tau}}{ds}$, $\frac{d\bar{n}}{ds}$, $\frac{d\bar{b}}{ds}$ згідно формул Френе розписуються в проєкціях на орти тригранника через кривину k і скрут σ напрямної кривої. Напрямною кривою є коло радіуса r , кривина k якого є оберненою величиною до радіуса ($k=1/r$). Напрямна крива (коло) є плоскою кривою, отже скрут $\sigma=0$. Формули Френе в цьому випадку спрощуються і мають наступний вигляд:

$$\bar{r}' = \bar{\tau}; \quad \bar{\tau}' = k\bar{n}; \quad \bar{n}' = -k\bar{\tau}, \quad \bar{b}' = 0. \quad (5)$$

Підставимо похідні (5) в (4) і після групування проєкцій по ортах $\bar{\tau}, \bar{n}, \bar{b}$ отримаємо:

$$\bar{R}' = \bar{\tau}(1 + \rho k \cos\beta) - \bar{n}\rho' \cos\beta + \bar{b}\rho' \sin\beta. \quad (6)$$

Абсолютну швидкість МЧ в проєкціях на орти тригранника Френе отримаємо множенням виразу (6) на V згідно (2). Диференціюванням абсолютної швидкості (2) по часу t при умові, що $V = \text{const}$, отримаємо вираз абсолютного прискорення: $d^2\bar{R}/dt^2 = V^2 d^2\bar{R}/ds^2$.

Другу похідну \bar{R}'' знаходимо диференціюванням векторного виразу (6) по змінній s із застосуванням формул Френе (5):

$$\bar{R}'' = 2\bar{\tau}\rho'k\cos\beta + \bar{n}(k + \rho k^2\cos\beta - \rho''\cos\beta) + \bar{b}\rho''\sin\beta. \quad (7)$$

Множенням виразу (7) на V^2 ми отримаємо складові абсолютного прискорення МЧ в проєкціях на орти рухомого тригранника Френе.

Диференціальне рівняння абсолютного руху МЧ у векторному записі має вигляд: $m\bar{w} = \bar{F}$, де m – маса МЧ, \bar{w} – вектор абсолютного прискорення, \bar{F} – результуючий вектор прикладених до МЧ сил. Такими силами є сила ваги mg ($g=9,81 \text{ м/с}^2$), реакція R_c поверхні конуса, реакція R_s поверхні лопатки, сила тертя $F_c=f_cR_c$ при ковзанні МЧ по поверхні конуса, сила тертя $F_s=f_sR_s$ при ковзанні МЧ по поверхні лопатки (f_s і f_p – коефіцієнти тертя МЧ по поверхні конуса і лопатки відповідно).

Усі сили мають строго визначений напрям дії (рис. 1,в). Сила ваги mg спрямована вниз, отже проєкції напрямного одиничного вектора на орти тригранника запишуться: $\{0; 0; -1\}$. Реакція R_s лопатки спрямована перпендикулярно до неї (рис. 1,в), тобто збігається із напрямом орта $\bar{\tau}$. Проєкції одиничного вектора реакції R_s запишуться: $\{1; 0; 0\}$. Реакція R_c

конуса спрямована перпендикулярно до його поверхні, тобто під прямим кутом до твірної (рис. 1,в). Проекції одиничного напрямного вектора запишуться: $\{0; \sin\beta; \cos\beta\}$.

Обидві сили тертя F_c і F_s спрямовані в протилежну сторону відносного руху МЧ. Оскільки вектор ρ' відносної швидкості ковзання МЧ спрямований вздовж спільної прямої конуса і лопатки вгору (рис. 1,в), то сумарна сила тертя $F_f = F_c + F_s$ буде спрямована під кутом β вниз. Вважатимемо, що коефіцієнти тертя f_s і f_p рівні, тобто $f_s = f_p = f$. Тоді сила тертя визначиться з виразу $F_f = F_c + F_s = f(R_c + R_s)$. Проекції одиничного напрямного вектора сили тертя запишуться: $\{0; \cos\beta; -\sin\beta\}$.

Розпишемо векторне рівняння $m\bar{w} = \bar{F}$ в проекціях на орти тригранника Френе:

$$\begin{aligned} mV^2 2\rho'k \cos\beta &= R_s; \\ mV^2(k + \rho k^2 \cos\beta - \rho'' \cos\beta) &= R_c \sin\beta + f(R_c + R_s)\cos\beta; \\ mV^2 \rho'' \sin\beta &= R_c \cos\beta - f(R_c + R_s)\sin\beta - mg. \end{aligned} \quad (8)$$

Вираз R_s із першого рівняння (10) підставимо в друге і третє рівняння. Отримані два рівняння розв'яжемо відносно ρ'' і R_c :

$$\begin{aligned} \rho'' &= -\frac{g}{V^2}(\sin\beta + f \cos\beta) + \rho k^2 \cos\beta(\cos\beta - f \sin\beta) + \\ &\quad + k(\cos\beta - 2f\rho' \cos\beta - f \sin\beta); \\ R_c &= mg \cos\beta + mkV^2 \sin\beta(1 + \rho k \cos\beta). \end{aligned} \quad (9)$$

Перше рівняння (9) є диференціальним рівнянням другого порядку і може бути розв'язане самостійно. Після знаходження залежності $\rho = \rho(s)$ стають відомими залежності реакцій $R_c = R_c(s)$ і $R_s = R_s(s)$. Диференціальне рівняння має наступний розв'язок:

$$\rho = c_1 e^{(A-f)ks \cos\beta} + c_2 e^{-(A+f)ks \cos\beta} + \frac{fg - kV^2 + (g + fkV^2)\text{tg}\beta}{k^2 V^2 (\cos\beta - f \sin\beta)}, \quad (10)$$

де $A = \sqrt{1 + f^2 - 2f \text{tg}\beta}$.

Знайдемо значення сталих інтегрування c_1 і c_2 . Нехай при $s=0$ пройдений шлях $\rho=0$ і початкова швидкість ковзання $\rho'=0$. Відносну швидкість ковзання отримаємо диференціюванням шляху ρ по часу t : $d\rho/dt = d\rho/ds \cdot ds/dt = \rho' \cdot V$. Диференціюванням залежності (10) по змінній s знаходимо:

$$\rho' = e^{-(A+f)ks \cos\beta} [c_1 (A-f) e^{2Aks \cos\beta} - c_2 (A+f)] k \cos\beta. \quad (11)$$

Прирівнюємо рівняння (10) і (11) до нуля при $s=0$ і знаходимо сталі інтегрування c_1 і c_2 :

$$c_1 = -\frac{(f+A)[fg - kV^2 + (g + fkV^2)\text{tg}\beta]}{2Ak^2 V^2 (\cos\beta - f \sin\beta)}. \quad (12)$$

$$c_2 = \frac{(f - A)[fg - kV^2 + (g + fkV^2)\operatorname{tg}\beta]}{2Ak^2V^2(\cos\beta - f\sin\beta)}. \quad (13)$$

Із добутку $V_r = \rho' \cdot V$ можна знайти відносну швидкість ковзання МЧ. Дослідження показали, що це ковзання можливе в обох напрямках у випадку, коли кут β більший кута тертя. При недостатній швидкості V руху тригранника МЧ може ковзати вниз. Граничне значення швидкості V знайдемо при $\rho' = 0$, тобто при такому значенні V , коли МЧ ковзати не буде. Прирівнявши (11) до нуля з урахуванням (12) і (13) і розв'язавши відносно V , знаходимо:

$$V = \sqrt{\frac{g(\sin\beta + f\cos\beta)}{k(\cos\beta - f\sin\beta)}}. \quad (14)$$

Наприклад, при $k=20$ ($r=0,05$ м), $f=0,3$, $\beta=20^\circ$ за формулою (14) знаходимо: $V=0,6$ м/с. Знаходимо граничне значення кутової швидкості: $\omega = Vk = 12$ с⁻¹. При $\omega > 12$ с⁻¹ МЧ рухається вгору, при $\omega < 12$ с⁻¹ – рухається вниз.

При розсіюванні частин технологічного матеріалу важливо знати їх швидкість в момент сходу з диска. Нехай зовнішній діаметр диска буде дорівнювати 0,6 м. Тоді з урахуванням $r=0,05$ м і $\beta=20^\circ$ шлях, який МЧ має пройти від початку і до кінця лопатки буде рівний $\rho=0,27$ м. На рис. 2,а побудовано графік $\rho=\rho(s)$ для різних швидкостей V . При $V=1$ м/с МЧ рухається вгору і проходить шлях $\rho=0,27$ м за час, коли тригранник пройде шлях $s=0,22$ м. Якщо рухати тригранник зі швидкістю $V=0,5$ м/с, то МЧ буде опускатися і за цей же час пройде шлях $\rho=0,2$ м. Шлях руху тригранника $s=Vt$. Підстановка цього виразу у (10) і (11) дасть залежності довжини шляху і відносної швидкості від часу t . Оскільки одна крива на рис. 2,а побудована для $V=1$ м/с, то в цьому випадку $s=t$, тобто шлях $\rho=0,27$ м МЧ проходить за час $t=0,22$ с.

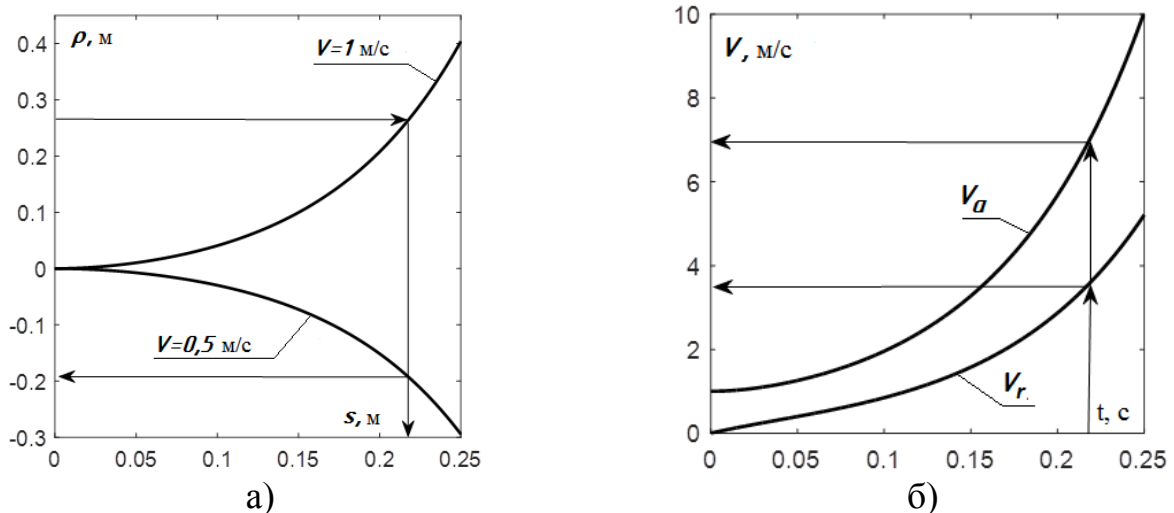


Рис. 2. Графіки зміни шляху і швидкостей руху МЧ при $\beta=20^\circ$, $k=20$, $f=0,3$: а) графік зміни залежності $\rho=\rho(s)$ для різних швидкостей руху тригранника; б) графіки зміни відносної V_r і абсолютної V_a швидкостей МЧ при $V=1$ м/с

Із виразу (6) можна знайти абсолютну швидкість V_a руху МЧ, як геометричну суму проєкцій на орти тригранника. Згідно (2) і (6):

$$V_a = \frac{d\bar{R}}{dt} = V \frac{d\bar{R}}{ds} = \sqrt{(1 + \rho k \cos \beta)^2 + \rho'^2}. \quad (15)$$

На рис. 2,б побудовано графіки зміни швидкостей руху в залежності від часу t (в даному випадку $s=t$). Із них можна визначити величину кожної швидкості в момент сходу МЧ із диска. Для цього із графіка знаходимо відповідні значення при $t=0,22$ с: $V_r=3,5$ м/с, $V_a=7$ м/с.

Висновки. Для знаходження параметрів руху МЧ у відцентровому розсіювальному апараті у вигляді конічного диска з вертикальними прямолінійними лопатками застосовано рухому систему координат, яка обертається разом з диском та яку можна прийняти за відомий в диференціальній геометрії супровідний тригранник Френе цього кола. Це дає можливість просто знаходити складові абсолютного прискорення МЧ в проєкціях на орти тригранника. Для цього потрібно двічі продиференціювати векторне рівняння руху МЧ з використанням формул Френе. Крім того, прикладені до МЧ сили мають в системі тригранника сталий напрям, який не залежить від його обертання. Все це дає можливість спростити складання диференціальних рівнянь в проєкціях на орти тригранника.

Література

1. Pylypaka S., Klendiy M., Zaharova T. Movement of the particle on the external surface of the cylinder, which makes the translational oscillations in horizontal planes. In: Ivanov V. et al. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing. DSMIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham, pp. 336–345 (2019), DOI: 10.1007/978-3-319-93587-4_35.
2. Sklabinskyi V., Liaposhchenko O., Pavlenko I., Lytvynenko O., Demianenko M. Modelling of liquid's distribution and migration in the fibrous filter layer in the process of inertial-filtering separation. In: Ivanov V. et al. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing. DSMIE 2018. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham, pp. 489–497 (2019), doi: 10.1007/978-3-319-93587-4_51.
3. Liaposhchenko O., Pavlenko I., Monkova K., Demianenko M., Starynskyi O.: Numerical simulation of aeroelastic interaction between gas-liquid flow and deformable elements in modular separation devices. In: Ivanov V. et al. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing II. DSMIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham, 2020, pp. 765–774, doi: 10.1007/978-3-030-22365-6_76.
4. Liaposhchenko O.O., Sklabinskyi V.I., Zavialov V.L., Pavlenko I.V., Nastenko O.V., Demianenko M.M.: Appliance of inertial gas-dynamic separation of gas-dispersion flows in the curvilinear convergent-divergent channels for compressor equipment reliability improvement. In: IOP

Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017. vol. 233(1), 012025, doi: 10.1088/1757-899X/233/1/012025.

5. Karpus V., Ivanov V., Dehtiarov I., Zajac J., Kurochkina V.: Technological assurance of complex parts manufacturing. In: Ivanov V. et al. (eds.) Advances in Design, Simulation and Manufacturing, DSMIE-2018, Lecture Notes in Mechanical Engineering, 2019, pp. 51–61, doi: 10.1007/978-3-319-93587-4_6.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ В ЦЕНТРОБЕЖНОМ АППАРАТЕ С ВЕРТИКАЛЬНЫМИ ЛОПАТКАМИ С ПОМОЩЬЮ ПОДВИЖНОЙ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ

Волина Т.Н., Пилипака С.Ф.

Центробежные аппараты для разделения различных сред широко распространены в химической, фармацевтической, пищевой и других промышленности. Аппараты центробежного типа могут иметь рабочие органы разных конструкций. Форма рабочих органов аппаратов и их конструктивные характеристики влияют на кинематические свойства движения материала. Следовательно, исследование законов движения материальной частицы вдоль рабочих органов разной формы и конструктивных параметров позволяет усовершенствовать конструкцию аппарата.

Аппараты центробежного типа могут иметь рабочие органы разных конструкций. В статье исследуются параметры движения частицы в центробежном рассеивающем устройстве, которое представляет собой конический диск со срезанным дном и вертикально установленными прямолинейными лопатками, с помощью подвижной системы координат, которая вращается вместе с диском с заданной угловой скоростью вокруг вертикальной оси.

Поскольку вершина подвижной системы координат описывает круг, такая система может быть принята за сопровождающий трехгранник Френе, широко известный в дифференциальной геометрии. Это позволяет находить составляющие абсолютного ускорения частицы в проекциях на орты трехгранника. Для этого нужно дважды продифференцировать векторное уравнение движения частицы с использованием известных формул Френе.

Кроме того, приложенные к частице силы имеют в системе трехгранника постоянное направление, которое не зависит от его вращения. Все это дает возможность упростить составление дифференциальных уравнений в проекциях на орты трехгранника. В статье составлена и решена численными методами система дифференциальных уравнений движения частицы. Найдены

кинематические характеристики и закономерности относительного движения частицы по конической поверхности. Аналитическое описание движения частицы дает возможность исследовать ее ускорение и найти относительную и абсолютную скорость в момент схождения частицы с диска. С помощью полученных аналитических зависимостей возможно определить влияние технологических и конструктивных параметров рассеивающего аппарата на процесс ускорения частицы.

Ключевые слова: дифференциальные уравнения, трехгранник Френе, угловая скорость, радиус-вектор, ускорение.

INVESTIGATION OF PARTICLE MOVEMENT IN A CENTRIFUGAL APPARATUS WITH VERTICAL BLADES BY MEANS OF A MOVING COORDINATE SYSTEM

Tatiana Volina, Serhii Pylypaka

Centrifugal devices for separating various environments are widely used in the chemical, pharmaceutical, food industries. Centrifugal devices can have working bodies of different designs. The shape of the working bodies of the devices and their design parameters affect the kinematic characteristics of the movement of the material. Thus, the study of the laws of motion of a material particle along the working bodies of different shapes and design parameters makes it possible to improve the design of the apparatus.

Working bodies of such devices can have different designs. The paper investigates the parameters of particle movement in a centrifugal scattering device, which consists of a conical disk with a cut bottom and vertically installed rectilinear blades, by means of a movable coordinate system that rotates with the disk with a given angular velocity around the vertical axis.

Since the vertex of a moving coordinate system describes a circle, such a system can be taken as the accompanying Frenet trihedron, widely known in differential geometry. This allows us to find the components of the absolute acceleration of the particle in the projections on the orts of the trihedron.

In addition, the forces applied to the particle have a constant direction in the system of the trihedron, which does not depend on its rotation. All this makes it possible to simplify the compilation of differential equations in the projections on the orts of the triangle. The system of differential equations of particle movement is compiled and solved by numerical methods in the article. The kinematic characteristics and regularities of the relative movement of a particle on a conical surface are found. Analytical description of the movement of a particle makes it possible to investigate its acceleration and find the relative and absolute velocity at the time of descent of the particle from the disk. With the obtained analytical dependencies, it is possible to determine the influence of technological and constructive parameters of the scattering apparatus on the

process of particle acceleration.

Keywords: differential equations, Frenet trihedron, angular velocity, radius vector, acceleration.

References

1. Pylypaka, S., Klendiy, M., Zaharova, T. (2019) Movement of the particle on the external surface of the cylinder, which makes the translational oscillations in horizontal planes. In: Ivanov V. et al. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing. DSMIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham, 336–345.
2. Sklabinskyi, V., Liaposhchenko, O., Pavlenko, I., Lytvynenko, O., Demianenko, M. (2019) Modelling of liquid's distribution and migration in the fibrous filter layer in the process of inertial-filtering separation. In: Ivanov V. et al. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing. DSMIE 2018. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham, 489–497.
3. Liaposhchenko, O., Pavlenko, I., Monkova, K., Demianenko M., Starynskyi O. (2020) Numerical simulation of aeroelastic interaction between gas-liquid flow and deformable elements in modular separation devices. In: Ivanov V. et al. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing II. DSMIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham, 765–774.
4. Liaposhchenko O.O., Sklabinskyi V.I., Zavalov V.L., Pavlenko I.V., Nastenka O.V., Demianenko M.M. (2017) Appliance of inertial gas-dynamic separation of gas-dispersion flows in the curvilinear convergent-divergent channels for compressor equipment reliability improvement. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 233(1), 012025.
5. Karpus V., Ivanov V., Dehtiarov I., Zajac J., Kurochkina V. (2019) Technological assurance of complex parts manufacturing. In: Ivanov V. et al. (eds.) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing, DSMIE-2018, Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 51–61.