МОДЕЛЮВАННЯ МІГРАЦІЇ ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК В СИСТЕМІ КАНАЛІВ З ЗАМКНЕНИМИ КОНТУРАМИ

Плашихін С. В., Семенюк М. В., Пилипець І. В.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МИГРАЦИИ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ В СИСТЕМЕ КАНАЛОВ С ЗАМКНУТЫМИ КОНТУРАМИ

Плашихин С. В., Семенюк Н. В., Пилипец И. В.

MODELING SOLID PARTICLES MIGRATION IN THE CHANNEL SYSTEM WITH CLOSED LOOPS

Plashykhin S, Semeniuk M, Pylypets I.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Київ, Україна
plashihin@ukr.net

Досліджено аеродинамічні характеристики двоканального відцентрового апарату з системою каналів з замкненими контурами для очистки димових газів від діоксиду сірки та золи. Проведено чисельний розрахунок часу перебування та довжини шляху для твердих частинок $Ca(OH)_2$ та золи різного медіанного діаметру в середині апарату.

Ключові слова: *система каналів з замкненими контурами, медіанний діаметр, діоксид сірки, зола*

Исследованы аэродинамические характеристики двухканального центробежного аппарата с системой каналов с замкнутыми контурами для очистки дымовых газов от диоксида серы и золы. Проведен численный расчет времени пребывания и длины пути для твердых частиц $Ca(OH)_2$ и золы различного медианного диаметра в середине аппарата.

Ключевые слова: *система каналов с замкнутыми контурами, медианный диаметр, диоксид серы, зола*

There have been studied aerodynamic properties of a two-channel centrifugal device equipped with a channel system having closed loops designed to remove sulfur dioxide and ash off the flue gases. Also a numerical calculation was made to identify residence time and the path length for solid particles Ca(OH)2and ash of various median diameters inside the centrifugal device.

Keywords: *channel system with closed loops, median diameters, sulfur dioxide, ash*

ВСТУП

Десульфуризація димових газів [1, 2] займає ключове місце в області охорони навколишнього середовища. У більшості країн з високим рівнем розвитку промисловості десульфуризація димових газів стала галуззю господарства зі значними капіталовкладеннями, управлінським, науково-технічним і виробничим апаратом, з законодавчо встановленими нормативами в області проектування і експлуатації установок очистки газів від оксидів сірки. З'явилися десятки потужних

машинобудівних і приладобудівних фірм, які розробляють та виробляють обладнання та прилади для цих цілей.

Необхідним етапом сучасних наукових досліджень є застосування новітніх комп'ютерних технологій, що забезпечують визначення необхідних характеристик апаратів на стадії проектування.

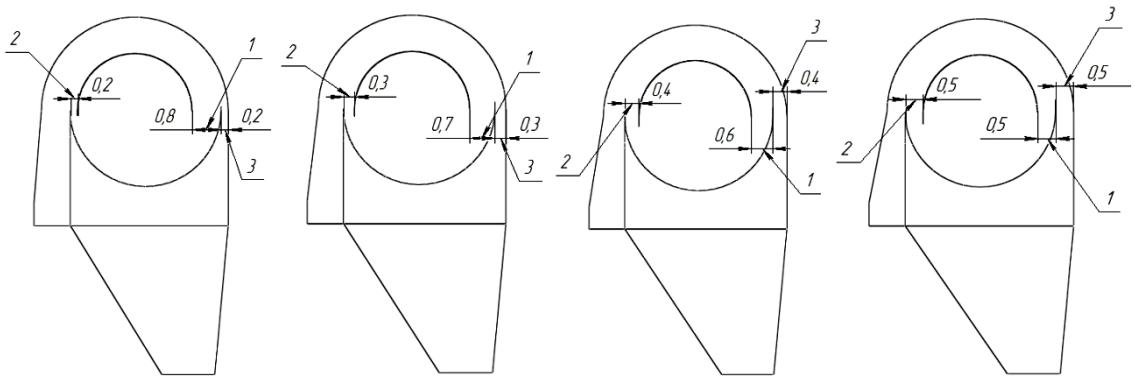
АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ

Метою аеродинамічного моделювання апарату є вибір типу конструкції двоканального відцентрового апарату з системою каналів з замкненими контурами для очистки димових газів від діоксиду сірки та золи. Оскільки вилучення з димових газів діоксиду сірки пов'язане з часом контакту частинок сорбенту з газовим середовищем, необхідно провести чисельний розрахунок часу перебування та довжини шляху для твердих частинок $Ca(OH)_2$ та золи різного медіанного діаметру в середині апарату.

Для аеродинамічних розрахунків використовувалась створена модель апарата, що відповідає реальному конструкторському виконанню апарата. Для визначення оптимального варіанту співвідношень транзитного та рециркуляційного потоків розрахунок здійснювався для чотирьох варіантів співвідношень $K_р/K_{тр}$: 0,2, 0,3, 0,4 та 0,5 розташування каналів.

Модель апарата складається з криволінійного каналу ($K_{кр}$), транзитного каналу ($K_{тр}$), рециркуляційного каналу ($К_р$) та каналу переходу потоку в бункер ($К_б$).

На рис. 1 зображено геометричні розміри моделей апарата та каналів для чотирьох варіантів моделювання.



а) б) в) г)

Рис. 1. Геометричні розміри моделі апарата:
1 – канал транзитного потоку, 2 – канал рециркуляційного потоку,
3 – канал переходу потоку в бункер;
а) співвідношення рециркуляційного та транзитного каналу 0,2;
б) співвідношення рециркуляційного та транзитного каналу 0,3;
в) співвідношення рециркуляційного та транзитного каналу 0,4;
г) співвідношення рециркуляційного та транзитного каналу 0,5

Для визначення ефективності десульфуризації димових газів та золовловлювання проводилось моделювання залежностей часу перебування, кількості

обертів та довжини руху частинок в залежності від їх медіанного діаметру (для 5…50 мкм).

Чисельне моделювання міграції твердих частинок $Ca(OH)_2$ та золи проводились для чотирьох варіантів співвідношення рециркуляційного каналу до транзитного $K_р/K_{тр}$.

На рис. 2 та 3 зображено результати моделювання довжини руху, кількості обертів та часу перебування частинок $Ca(OH)_2$ в об'ємі каналів апарата. Рух потоку здійснюється по траєкторії: криволінійний канал - транзитний канал - рециркуляційний канал.

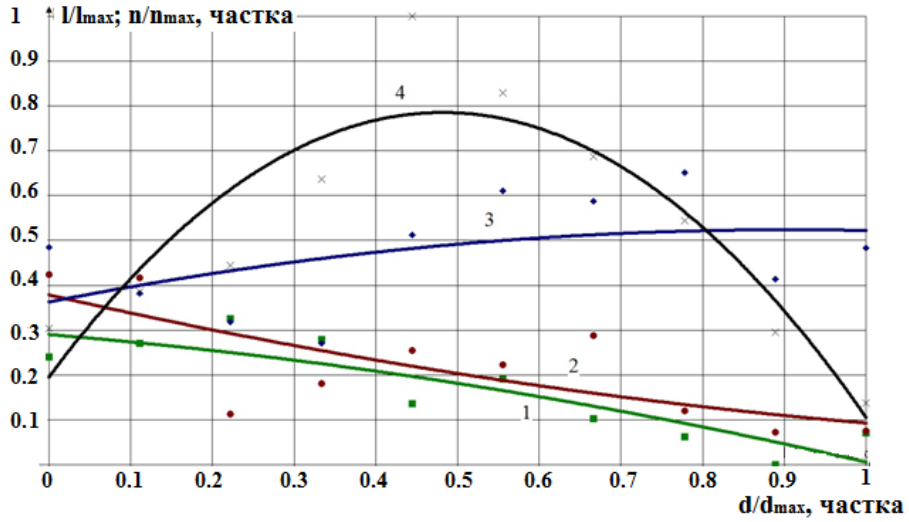


Рис. 2. Залежність значень довжини руху та кількості обертів
від медіанного діаметра частинок $Ca(OH)_2$:
l_{max} = 21,4 м; n_{max} = 6,4 об.; d_{max} = 50 мкм;
l_{min} = 5,1 м; n_{min} = 1,5 об.; d_{min} = 5 мкм;
1 – співвідношення рециркуляції до транзиту 0,2;
2 – співвідношення рециркуляції до транзиту 0,3;
3 – співвідношення рециркуляції до транзиту 0,4;
4 – співвідношення рециркуляції до транзиту 0,5

З рис. 2 видно, що розподіл довжини руху частинок в залежності від їх діаметру має різний характер.

У випадку співвідношення рециркуляції до транзиту $K_р/K_{тр}$ = 0,2 спостерігається зниження довжини руху від 12 до 5 м. При співвідношенні $K_р/K_{тр}$ = 0,3 лінія має такий же характер розподілу значень як при $K_р/K_{тр}$ = 0,2 та коливається в межах 6…13 м (2…3 об.). При співвідношенні $K_р/K_{тр}$ = 0,4 лінія займає середнє значення та зростає по довжині руху і коливається в межах 10…15 м (3…5 об.). Довжина руху частинок займає найвище значення для варіанту моделювання апарата $K_р/K_{тр}$ = 0,5 та складає 18…20 м. для діаметру 25…30 мкм.

Підвищення довжини руху частинок в апараті зі зміною варіанту співвідношень від $K_р/K_{тр}$ = 0,2 до 0,5 пояснюється збільшенням об'єму рециркуляційного потоку, а отже і кількості обертів, що здійснюють часточки в апараті.

На рис. 3 зображено час руху частинок $Ca(OH)_2$ змінного медіанного діаметру для різного варіанту співвідношення рециркуляції до транзиту $K_р/K_{тр}$.

Для найбільш ефективного вилучення оксидів сірки з димових газів необхідно забезпечити максимальний час перебування частинок $Ca(OH)_2$ в об'ємі апарату.

З рис 3 видно, що найменше значення часу руху частинок для співвідношення $K_р/K_{тр}$ = 0,2, яке становить 0,6…2 секунди. Схожий за характером розподіл для співвідношення $K_р/K_{тр}$ = 0,3 де час руху коливається в межах 0,6…2,5 секунд. Найвищі показники часу перебування частинок в апараті спостерігається для співвідношення $K_р/K_{тр}$ = 0,4, та досягають 6 секунд. Для співвідношення $K_р/K_{тр}$ = 0,5 час руху частинок дещо знижується і становить 0,6…4 секунди.

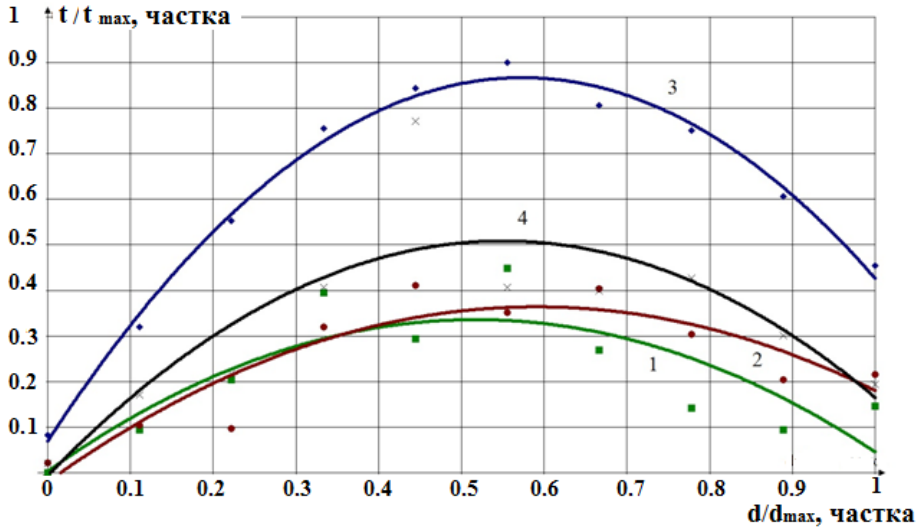


Рис. 3. Залежність часу перебування від медіанного діаметра частинок $Ca(OH)_2$ в каналах апарата:
t_{max} = 6,4 сек; d_{max} = 50 мкм;
t_{min} = 0,6 сек; d_{min} = 5 мкм;
1 – співвідношення рециркуляції до транзиту 0,2;
2 – співвідношення рециркуляції до транзиту 0,3;
3 – співвідношення рециркуляції до транзиту 0,4;
4 – співвідношення рециркуляції до транзиту 0,5

У всіх випадках моделювання апарату очистки спостерігається підвищення часу руху в каналах частинок діаметром 25…30 мкм. Це спричинено швидким винесенням дрібних частинок (< 20 мкм) з сепараційної камери у вихідний патрубок та вилученням крупних частинок (> 35 мкм) в бункер, де процес десульфуризації припиняється за відсутності циркуляції потоку димових газів.

За результатами моделювання виявлено, що найвищий час перебування частинок в апараті спостерігається для співвідношення $K_р/K_{тр}$ = 0,4. Модель апарату зі співвідношенням $K_р/K_{тр}$ = 0,4 складає найкращий варіант будови з точки зору ефективності зв'язування оксидів сірки вапном, що безпосередньо залежить від часу контакту.

На рис. 4 та 5 зображено результати моделювання довжини руху, кількості обертів та часу перебування частинок золи в об'ємі каналів апарата. Обчислення кількості обертів частинок золи в апараті визначається аналогічним чином, як і для $Ca(OH)_2$.

Залежність довжини руху твердих частинок золи від медіанного діаметру має схожий характер розподілу з частинками $Ca(OH)_2$.

З рис 4 видно, що співвідношення рециркуляції до транзиту $K_р/K_{тр}$ = 0,2…0,3 та 0,4…0,5 мають схожий характер розподілу. Для співвідношення $K_р/K_{тр}$ = 0,2 спостерігається спад від 11 м до 7 м (2 об.), для співвідношення $K_р/K_{тр}$ = 0,3 спостерігається зниження довжини руху частинок від 10,5 м до 5,5 м.

У співвідношення $K_р/K_{тр}$ = 0,4 спостерігається середні показники кількості обертів в сепараційній камері та відповідно довжини руху частинок, що коливаються в межах 10…17 м (2…5 об.). Для частинок медіанним діаметром < 10 мкм та > 35 мкм відбувається зниження довжини руху.

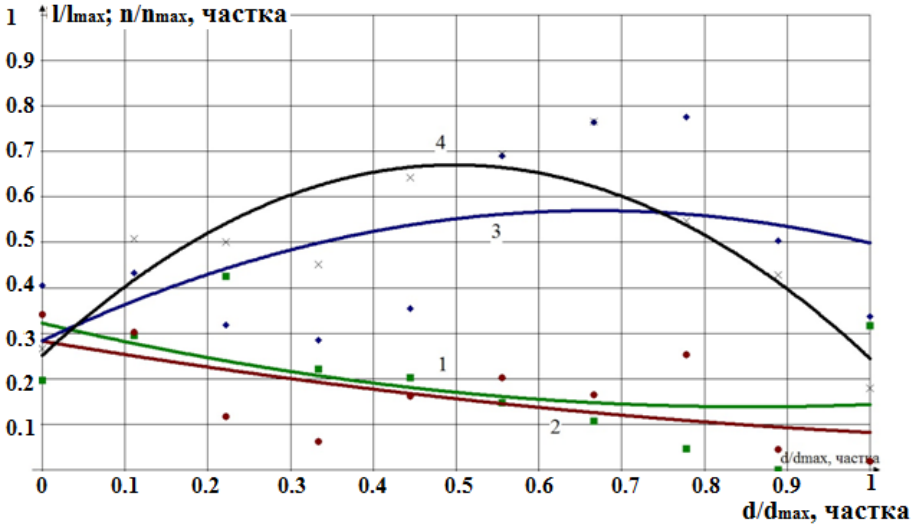


Рис. 4. Залежність довжини руху та кількості обертів
від медіанного діаметра частинок золи:
l_{max} = 21,5 м; n_{max} = 6,4 об.; d_{max} = 50 мкм;
l_{min} = 5,9 м; n_{min} = 1,8 об.; d_{min} = 5 мкм;
1 – співвідношення рециркуляції до транзиту 0,2;
2 – співвідношення рециркуляції до транзиту 0,3;
3 – співвідношення рециркуляції до транзиту 0,4;
4 – співвідношення рециркуляції до транзиту 0,5

Розподіл довжини руху частинок для співвідношення $K_р/K_{тр}$ = 0,5 носить схожий характер та коливається в межах 8…18 м (2…5,5 об.). Для частинок медіанним діаметром 5…25 мкм спостерігається підвищення довжини руху з 7 м до 18 м, для частинок 25…50 мкм зниження від 18 м до 6 м.

Різницю в показниках значень розподілу для співвідношень $K_р/K_{тр}$ = 0,4…0,5 можна пояснити різкими турбулентними вихрами та похибкою системами комп'ютерного моделювання твердих частинок в об'ємі апарата.

На рис. 5. зображено значення часу руху частинок золи для різного варіанту співвідношення рециркуляції до транзиту $K_р/K_{тр}$.

Для співвідношення $K_р/K_{тр}$ = 0,2 крива розподілу значень часу зростає до 2,5 секунд для діапазону частинок 5…35 мкм та понижується до 1 секунди при 50 мкм. Для співвідношення $K_р/K_{тр}$ = 0,3 спостерігається зростання кривої розподілу значень часу руху частинок до 3 секунди від 5 до 30 мкм та зниження до 0,6 секунд для частинок 35…50 мкм. Співвідношення $K_р/K_{тр}$ = 0,4 має найвищі показники значень

часу руху, що зростають від 0,6 секунд для 5 мкм до 5,5 секунд для 25…50 мкм. Характер розподілу значень для співвідношенні $K_р/K_{тр}$ = 0,5 схожий з 0,2…0,3 та коливається в межах 0,6…3 секунди.

Як і в випадку моделювання частинок $Ca(OH)_2$, характер кривої розподілу значень часу руху частинок золи має виражене зростання для d_{50} = 25…30 мкм, що спричинено швидким винесенням дрібних частинок (< 20 мкм) з сепараційної камери у вихідний патрубок та вилученням крупних частинок (> 35 мкм) в бункер.

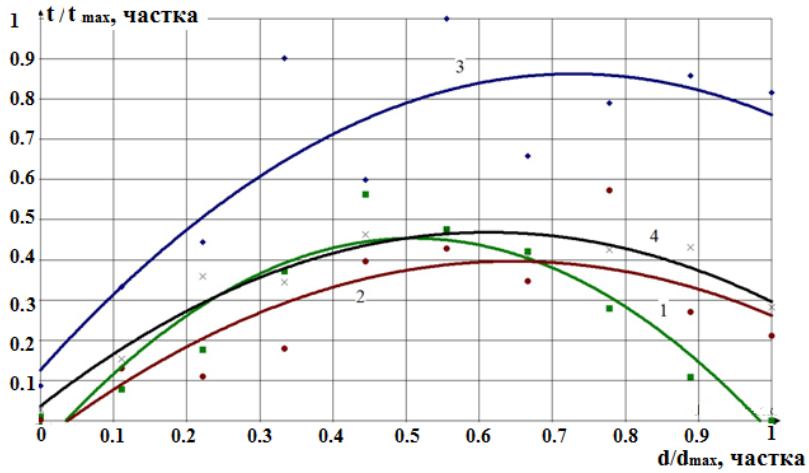


Рис.5. Залежність значень часу руху від медіанного діаметра частинок золи:
t_{max} = 5,8 сек; d_{max} = 50 мкм;
t_{min} = 0,6 сек; d_{min} = 5 мкм;
1 – співвідношення рециркуляції до транзиту 0,2;
2 – співвідношення рециркуляції до транзиту 0,3;
3 – співвідношення рециркуляції до транзиту 0,4;
4 – співвідношення рециркуляції до транзиту 0,5

ВИСНОВКИ

Вилучення з димових газів діоксиду сірки пов'язане з часом контакту сорбенту з газовим середовищем всередині апарату очистки. В зв'язку з цим, в роботі були проведені розрахунки для 4 варіантів конструкції апарата, що відрізняються між собою розташуванням криволінійних обичайок та шириною зазорів між ними. Діапазон варіантів співвідношень ширин зазорів варіювались від 0,2 до 0,5.

Проведений чисельний розрахунок часу перебування та довжини шляху для твердих частинок $Ca(OH)_2$ та золи ($d50$ = 5…50 мкм) в середині апарату очистки виявив, що середній час перебування твердих частинок складає 4 секунди при довжині шляху 12-14 м, для варіанта конструкції апарату з оптимальним співвідношенням ширини зазорів між каналами рівним 0,4.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гладкий А. В. Современное состояние и перспективы мирового развития методов десульфуризации отходящих промышленных газов. *Промышленная и санитарная очистка газов*. М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1990. 28 с.
2. Kolev N. N., Ljutzkanov L. A., Kolev D. N., Dzhonova-Atanasova D. B., Razkazova-Velkova E. N. New Technology for purification of the flue gas from Sulphur Dioxide. *Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods & Technologies*, 2011. Vol. 5, Part 1. P. 375-382.