

Я.В. Дорошенко

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ДВОФАЗНИХ ПОТОКІВ НА ЕРОЗІЙНЕ ЗНОШУВАННЯ ВІДВОДІВ ГАЗОПРОВОДІВ

CFD (Computational Fluid Dynamics) моделюванням Лагранжевим підходом (модель DPM (Discrete Phase Model)) у програмному комплексі ANSYS Fluent R19.2 Academic досліджено вплив швидкості двофазного газового потоку, розмірів і витрати дисперсних частинок на місцезнаходження та величину ерозійного зношування відводів газопроводів. Побудовано графічні залежності максимальної швидкості ерозійного зношування відводів газопроводів від кожного з досліджуваних параметрів.

Ключові слова: витрата дисперсних частинок, відвід, дисперсна фаза, діаметр дисперсних частинок, ерозійне зношування, підхід Лагранжа, рівняння Фінні, швидкість газового потоку.

Постановка проблеми

Основними вимогами, яким повинні відповідати трубопроводи є надійність, екологічна безпека та енергоефективність. Надійність трубопроводів у значній мірі залежать від якості їх технічного обслуговування, своєчасності виконання ремонтних робіт.

У багатьох трубопровідних системах різноманітного призначення доволі часто спостерігаються дво- або багатофазні потоки. У газопроводах такі потоки зумовлені наявністю в їх внутрішній порожнині рідких малов'язких накопичень (газовий конденсат, пластова та конденсаційна вода), твердих домішок (продукти внутрішньотрубної корозії (карбонат заліза, оксиди заліза та сульфід заліза, металеве залізо), окалини, яка відшарувалась від труб, будівельного сміття (в основному огарки електродів), винесених з свердловин частинок порід, піску. У транспортованій нафтопроводами нафті містяться парафіни, різні мінеральні солі, речовини винесені з свердловин на поверхню разом з нафтою, продукти внутрішньотрубної корозії. Основними дисперсними частинками в трубопроводах теплових мереж є продукти внутрішньотрубної корозії, відклади шламу, пісок, ґрунт. У трубах водопровідних мереж міститься осад та біоплівка, відклади продуктів внутрішньотрубної корозії.

Порівняно з однофазними двофазні потоки є набагато складнішими, особливо в місцях зміни напрямку їх руху. На траєкторію руху дисперсної фази в відводах трубопроводів впливають багато чинників серед яких турбулентність потоку, сили інерції, сили тяги. У результаті відбувається ударання великої кількості дисперсних частинок з стінкою відводу трубопроводу [1]. Дисперсні

частинки в трубопровідних потоках мають певний імпульс тому під час ударання відбувається ерозійне зношування відводів [2]. Ерозійне зношування призводить до зменшення товщини стінки відводів і збільшення напружень. Значне ерозійне зношування відводів може призвести до витоків або розривів. Тому досить актуальною є задача передбачення будь-якої аварійної ситуації зумовленої ерозійним зношуванням відводів трубопроводів. Це можна здійснити шляхом своєчасного діагностування стінки труби відводів, контролювання параметрів багатофазних газопровідних потоків і розрахунку швидкості ерозії.

Процес ерозійного зношування відводів газопроводів є достатньо складним, оскільки місцезнаходження та величина ерозійних дефектів залежить від багатьох параметрів багатофазних трубопровідних потоків. Зокрема, густини транспортованого продукту та його швидкості, швидкості дисперсної фази та її властивостей, розміру частинок дисперсної фази, інтенсивності турбулентності, кут атаки частинок. Якщо відома міра впливу кожного з цих параметрів на величину та місцезнаходження ерозійного зношування відводів можна розробити ефективні заходи для зменшення ерозії. Тому доцільним є розрахунок швидкості ерозії відводів газопроводів при різних параметрах двофазних потоків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідження впливу параметрів багатофазних трубопровідних потоків на величину та місцезнаходження ерозійного зношування відводів трубопроводів різноманітного призначення виконуються експериментально або чисельно в програмних комплексах CFD моделювання.

Швидкість ерозійного зношування відводів сильно залежить від швидкості суцільної фази. При малій швидкості суцільної фази до 2 м/с незалежно від розміру частинок дисперсної фази інтенсивного ерозійного зношування відводів не відбувається. [3] Коли швидкість суцільної фази більше 10 м/с то швидкість ерозійного зношування відводів починає помітно зростати. [4] Якщо суцільним середовищем є рідина то її швидкість впливає на місцезнаходження максимуму ерозійного зношування відводів. Зі збільшенням швидкості потоку місце максимуму ерозії переміщується вниз за течією. [5]

Було помічено, що на швидкість ерозійного зношування відводів також впливає діаметр дисперсних частинок. Дуже дрібні частинки рідко ударяються з стінкою відводу. Чим більший діаметр частинок тим більшою є швидкість ерозійного зношування відводів трубопроводів. [6, 7] Однак коли частинки дисперсної фази досить великого розміру швидкість ерозії збільшується значно повільніше або стає постійною. [8] Збільшення густини частинок дисперсної фази не спричинює суттєвого збільшення максимальної швидкості ерозійного зношування відводів. [4] У деяких випадках наявність рідкої фази в газовому потоці призводить до виникнення рідкої плівки на стінці відводів, що значно знижує швидкість ерозійного зношування. [9]

Зі збільшенням числа Стокса інертність дисперсних частинок збільшується, що зменшує їх вплив на стінку відводів. У результаті швидкість ерозійного зношування відводів трубопроводів зменшується. [7]

Аналіз публікацій показав, що проблема ерозійного зношування відводів є складною і визначається цілим рядом багатьох параметрів вплив яких досліджений недостатньо. Особливо мало досліджувався вплив багатофазних потоків газопроводів на ерозійне зношування відводів. Накопичений експериментальний матеріал отриманий при невеликих робочих тисках так як в умовах магістральних газопроводів такі експерименти виконати неможливо.

Мета статті

Метою є дослідження впливу параметрів багатофазних потоків на місцезнаходження та величину ерозійного зношування відводів газопроводів.

Виклад основного матеріалу

Відводи є достатньо поширеними елементами газопровідних систем. Їх установлюють для зміни напрямку трубопроводу. Найбільше відводів містять технологічні трубопроводи різноманітних

газотранспортних об'єктів де аварійна ситуація може призвести до великої кількості негативних наслідків. Найпоширенішими є відводи з кутом вигину 90°.

Дослідити вплив параметрів багатофазних потоків газопроводів на місцезнаходження і величину ерозійного зношування відводів можна сучасним визнаним дослідниками способом – CFD моделюванням. CFD моделювання було виконано у програмному комплексі ANSYS Fluent R17.0 Academic.

Для дослідження руху окремо взятих частинок дисперсної фази був вибраний Лагранжевий підхід (модель DPM). Модель DPM дає змогу побудувати і дослідити траєкторії руху частинок дисперсної фази в суцільній фазі розв'язанням диференційного рівняння руху частинок [10]. Рух суцільної фази моделюється чисельним розв'язуванням рівнянь Нав'є – Стокса і нерозривності. Турбулентність потоку моделюється стандартною $k-\varepsilon$ моделлю (k – кінетична енергія турбулентності, ε – швидкість дисипації турбулентності). [11] Ерозійне зношування моделюється за формулою Фінні. [12]

Величина ерозійного зношування відводів газопроводів у найбільшій мірі залежить від таких параметрів двофазного потоку:

- швидкості газового потоку, від якої у великій мірі залежить швидкість дисперсних частинок і їх сила ударяння з стінкою;
- розмір дисперсних частинок;
- витрата дисперсних частинок.

Для дослідження вплив кожного з цих параметрів на величину ерозійного зношування було вибрано відвід газопроводу зовнішнім діаметром 530 мм з кутом вигину 90° та радіусом вигину рівним DN (DN – умовний діаметр відводу). У такому відводі відбувається найрізкіша зміна напрямку газового потоку і ерозійне зношування буде максимальним. Було накреслено тривимірну модель внутрішньої порожнини відводу газопроводу конструкція та геометричні розміри якого ідентична промисловим зразкам і відповідає ТУ У 27.2-05747991-001 [13]. Відвід був накреслений з прилеглими ділянками труб. Товщини стінки відводів і прилеглих труб розраховувались для відповідного тиску. За значенням номінальної товщини стінки відводів і труб визначались їх внутрішні діаметри. Коефіцієнт еквівалентної шорсткості стінки відводу задавався рівним 0,03 мм. Тип граничної умови для дисперсної фази вибирався Reflect – відбивання частинки від стінки (кут падіння рівний куту відбивання).

Суцільною фазою вибирався природний газ. Тиск на виході відводу задавався рівним 5 МПа.

Дисперсною фазою вибирався пісок оскільки він є однією з найбільших загроз цілісності відводів газопроводів і виноситься газовим потоком з

свердловин. Особливо це стосується транспортування сланцевого газу на ранніх стадіях видобування, коли швидкість газового потоку є максимальною. Розміри частинок було визначено експериментально шляхом дослідження відібраних з внутрішньої порожнини газопроводів взірців. Гранулометричний склад взірців був визначений за допомогою комплексу сит з різним діаметром отворів. Виміряна густина піску складає 2803 кг/м^3 .

Швидкість та температура частинок дисперсної фази на вході в відвід приймалась рівною швидкості та температурі суцільної фази на вході. Температура суцільної фази відповідає умовам експлуатації газопроводів. Дисперсна фаза вводилась рівномірно на вході і задавалась сферичної форми.

Результати моделювання візуалізувались в постпроцесорі ANSYS Fluent, що дало змогу виявити місця та визначити величину максимального ерозійного зношування відводів.

Для кращого розуміння процесів ерозійного зношування відводів доцільно ознайомитись з результатами дослідження динаміки руху однофазних та багатofазних потоків відводами газопроводів [1, 14, 15].

Щоб встановити вплив швидкості газового потоку V на величину і місцезнаходження ерозійного зношування відводу на вході вона змінювалась в межах від 4 м/с до 19 м/с з кроком 3 м/с . Мінімальна швидкість газового потоку на вході у відвід приймалась рівною 4 м/с оскільки в [16, 17] було визначено, що наближено такою є мінімальна швидкість потоку, при якій тверді частинки будуть переміщуватись трубопроводом. Витрата піску на вході в відвід задавалась рівною $0,001 \text{ кг/с}$, діаметр зерен піску $0,1 \text{ мм}$.

Результати CFD моделювання (рис. 1) показують, що інтенсивне ерозійне зношування відбувається з опуклого боку відводу в місці виходу з нього газового потоку між кутами 60° і 90° відводу та на початку привареної до відводу труби в напрямку руху продукту. Зі збільшенням швидкості газового потоку значної зміни місцезнаходження поля максимального ерозійного зношування не відбувається.

Швидкості газового потоку має значний вплив на величину ерозійного зношування відводу при усіх інших незмінних параметрах. У разі збільшення швидкості газового потоку на вході у відвід спостерігається різке експоненціальне зростання величини ерозійного зношування (рис. 3). Причиною цього є те, що чим більша швидкість дисперсних частинок тим більшою є їх кінетична енергія. Якщо швидкість газового потоку збільшується від 4 м/с до 19 м/с величина максимальної швидкості ерозійного зношування відводів збільшується від $1,07 \cdot 10^{-9} \text{ кг/м}^2$ до $3,8 \cdot 10^{-8} \text{ кг/м}^2$. Причому якщо швидкість газового

менша 10 м/с значного збільшення швидкості ерозійного зношування не відбувається.

Щоб встановити вплив розміру дисперсних частинок на величину і місцезнаходження ерозійного зношування відводу діаметр зерен піску d_n змінювався і приймався рівним $0,005 \text{ мм}$, $0,01 \text{ мм}$, $0,05 \text{ мм}$, $0,1 \text{ мм}$, $0,5 \text{ мм}$ та $1,0 \text{ мм}$. Швидкість газового потоку на вході у відвід задавалась рівною 13 м/с , а витрата піску $0,001 \text{ кг/с}$.

Результати CFD моделювання (рис. 3) показують, що діаметр дисперсних частинок має значний вплив на місцезнаходження поля максимального ерозійного зношування відводу. При малих діаметрах дисперсних частинок ($0,005 \text{ мм}$ та $0,01 \text{ мм}$) поля максимального ерозійного зношування є борозноподібними і з опуклого боку відводу простягаються між кутами 45° і 80° відводу в місці виходу з нього газового потоку. Зі збільшенням діаметра дисперсних частинок поле максимального ерозійного зношування набуває зосередженості та все більше опуклим боком відводу поширюється до місця виходу з нього газового потоку. При діаметрі дисперсних частинок $0,1 \text{ мм}$ поле максимального ерозійного зношування поширюється і на приварену до відводу трубу. При великих діаметрах дисперсних частинок ($0,5 \text{ мм}$ та $1,0 \text{ мм}$) поле максимального ерозійного зношування стає видовженим (шнуроподібним) і простягається між кутами 60° і 90° відводу і поширюється на частину привареної до відводу труби.

При малих (від $0,005 \text{ мм}$ до $0,1 \text{ мм}$) та великих (від $0,5 \text{ мм}$ до $1,0 \text{ мм}$) діаметрах дисперсних частинок значної зміни швидкості ерозійного зношування відводів не відбувається (рис. 4). При збільшенні діаметра дисперсних частинок від $0,1 \text{ мм}$ до $0,5 \text{ мм}$ відбувається значне збільшення швидкості ерозійного зношування відводів від $1,5 \cdot 10^{-8} \text{ кг/м}^2$ до $1,37 \cdot 10^{-7} \text{ кг/м}^2$.

Щоб встановити вплив витрати дисперсних частинок q_n на величину і місцезнаходження ерозійного зношування відводу на вході вона змінювалась від $0,0002 \text{ кг/с}$ до $0,0022 \text{ кг/с}$ з кроком $0,0004 \text{ кг/с}$. Швидкість газового потоку на вході у відвід задавалась рівною 13 м/с , а діаметр зерен піску $0,1 \text{ мм}$.

Результати CFD моделювання (рис. 5) показують, що витрата дисперсних частинок не впливає на місцезнаходження поля ерозійного зношування відводу. Для усіх витрат воно було в одному і тому ж місці з опуклого боку відводу в місці виходу з нього газового потоку між кутами 60° і 90° відводу та на початку привареної до відводу труби в напрямку руху продукту. Тому на рис. 5 для прикладу було наведено поля ерозійного зношування відводів для витрат дисперсних частинок тільки $0,0002 \text{ кг/с}$ та $0,001 \text{ кг/с}$.

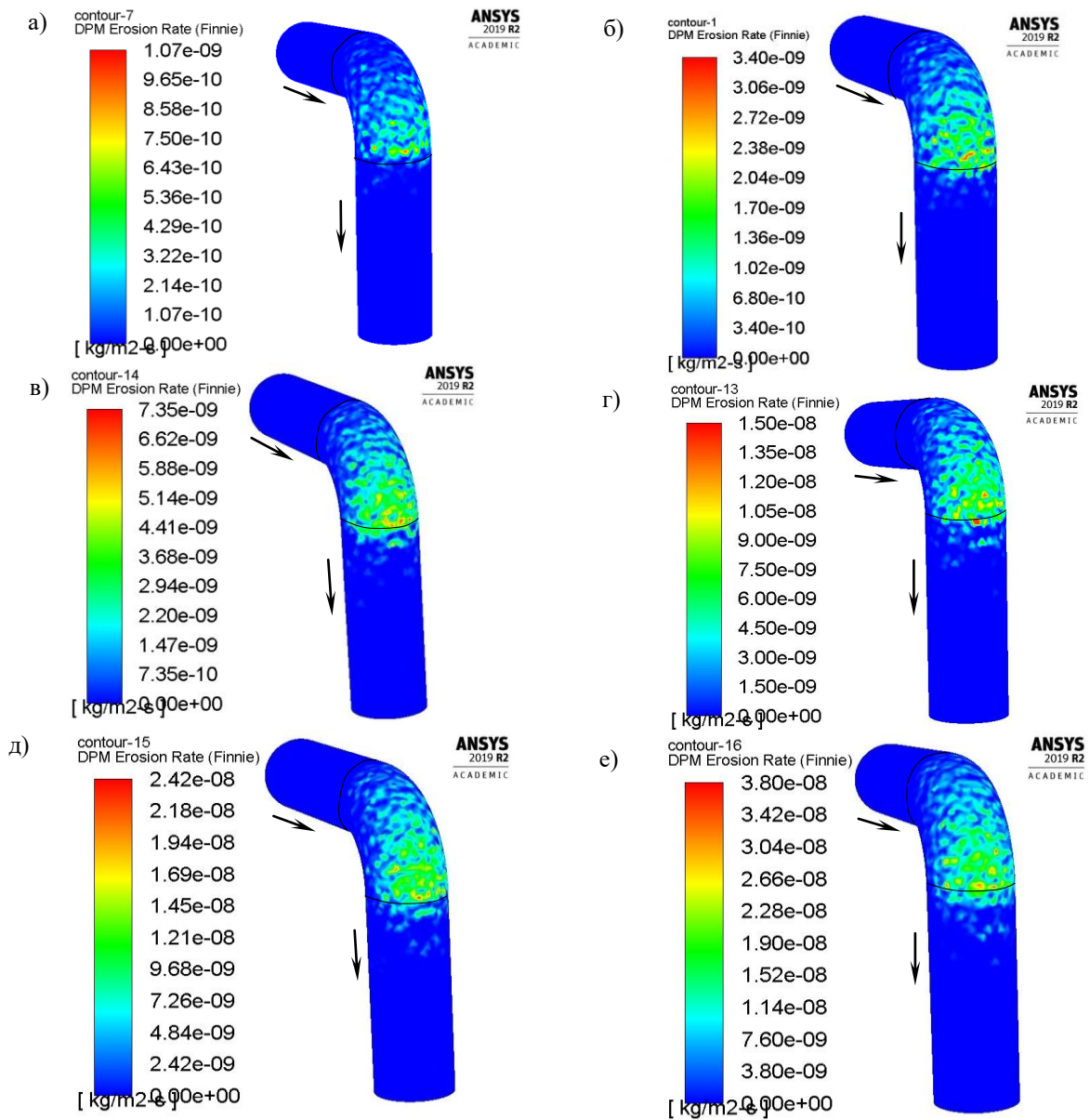


Рис. 1. Поля швидкості ерозійного зношування на контурах відводів для різних швидкостей газového потоку на вході у відвід:

а) $V=4$ м/с; б) $V=7$ м/с; в) $V=10$ м/с; г) $V=13$ м/с; д) $V=16$ м/с; е) $V=19$ м/с

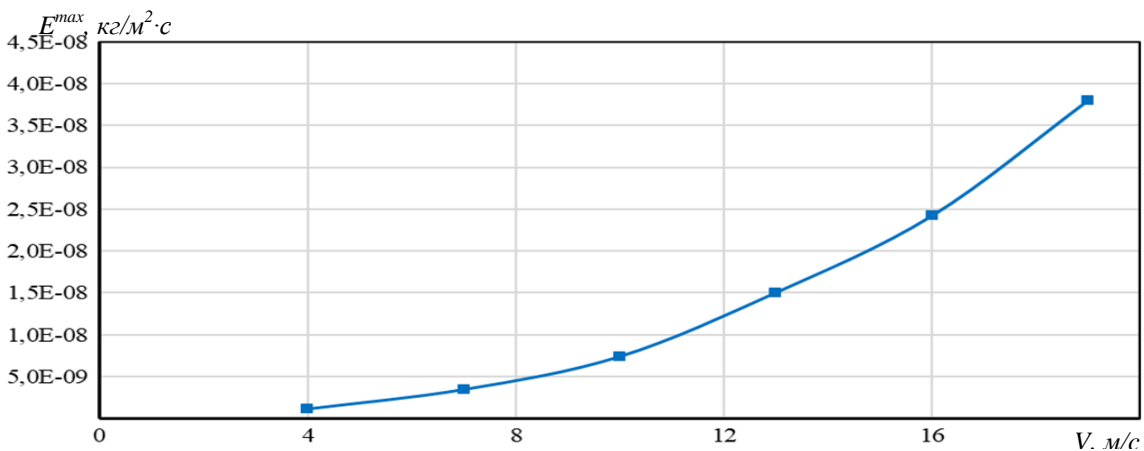


Рис. 2. Залежність максимальної швидкості ерозійного зношування від швидкості газového потоку на вході у відвід

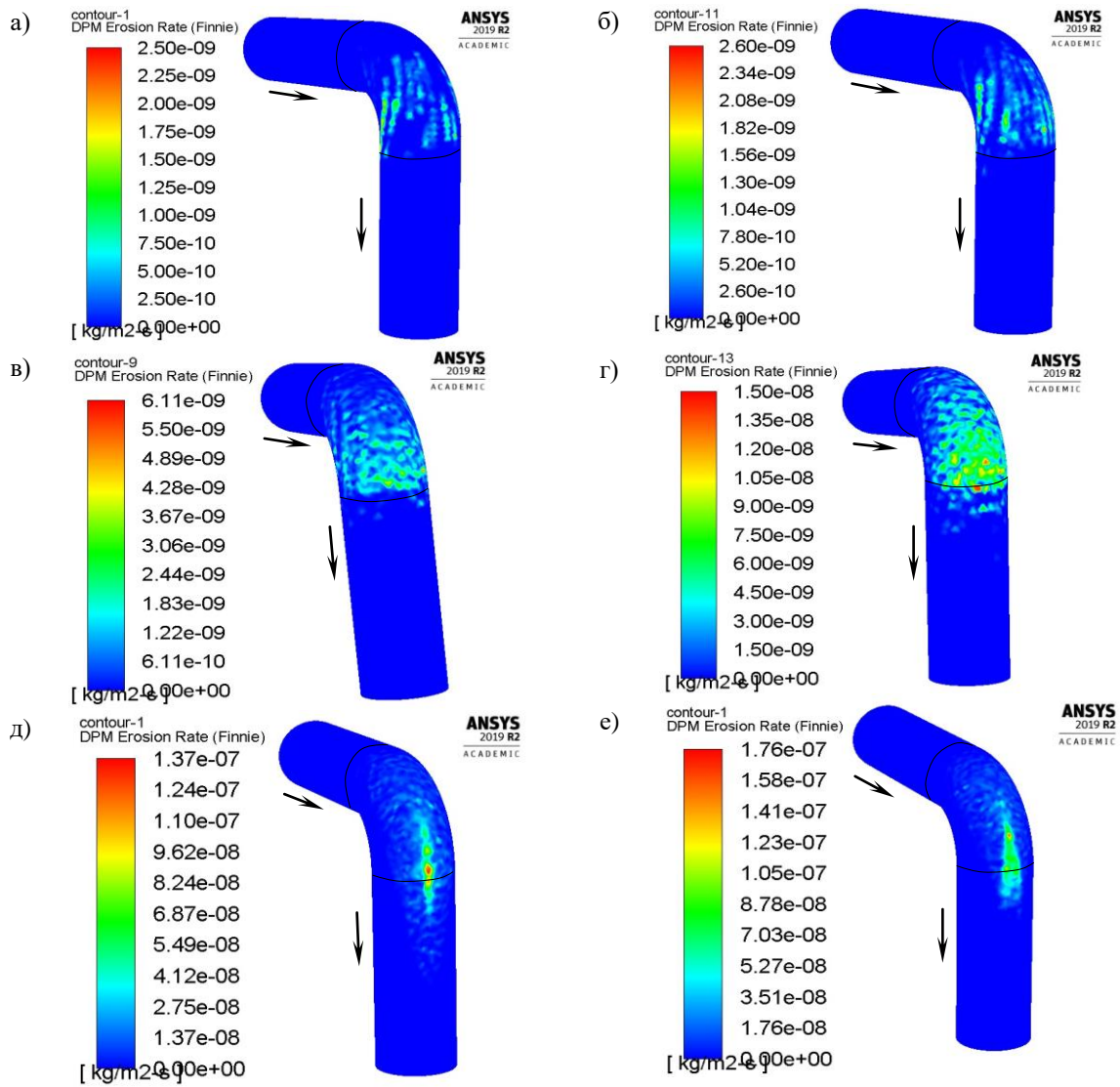


Рис. 3. Поля швидкості ерозійного зношування на контурах відводів для різних діаметрів дисперсних частинок:

а) $d_n=0,005$ мм; б) $d_n=0,01$ мм; в) $d_n=0,05$ мм; г) $d_n=0,1$ мм; д) $d_n=0,5$ мм; е) $d_n=1,0$ мм

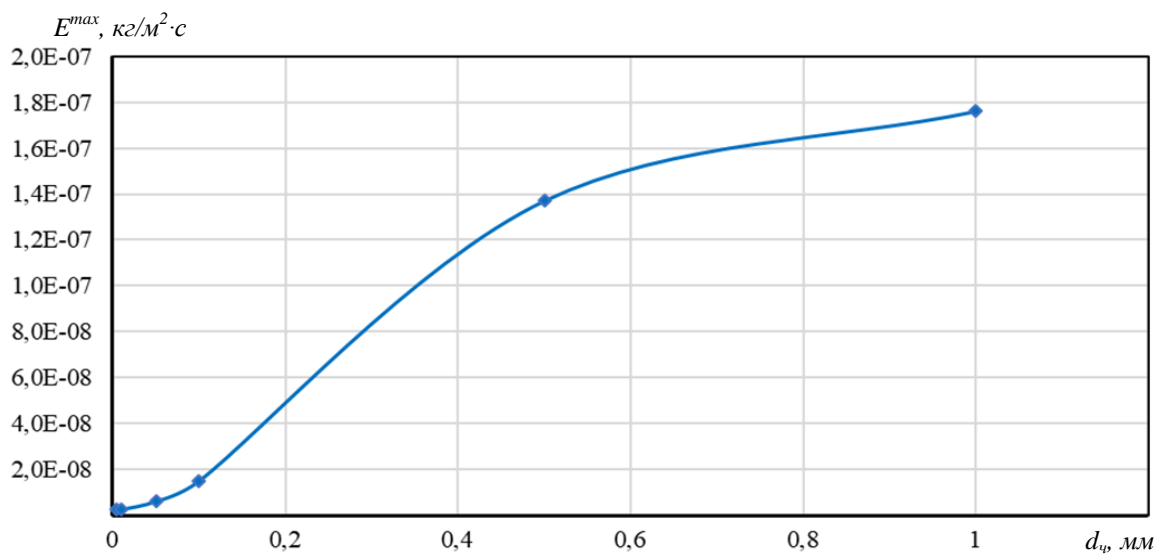


Рис. 4. Залежність максимальної швидкості ерозійного зношування від діаметра дисперсних частинок

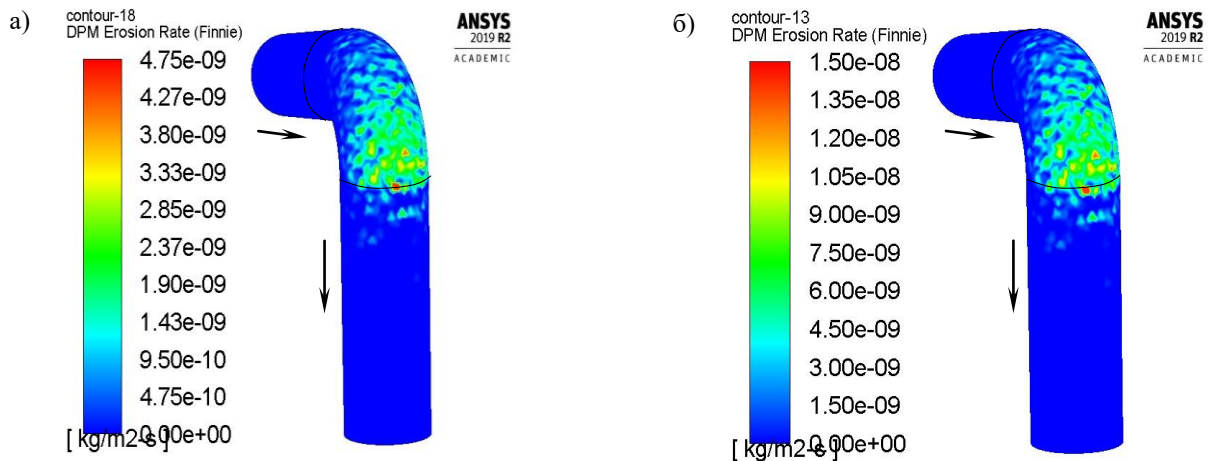


Рис. 5. Поля швидкості ерозійного зношування на контурах відводів для різних витрат дисперсних частинок:

а) $q_n = 0,0002$ кг/с; б) $q_n = 0,001$ кг/с

Витрата дисперсних частинок не чинить значного впливу на величину ерозійного зношування відводу при усіх інших незмінних параметрах (рис. 6). У разі збільшення витрати дисперсних частинок відбувається поступове збільшення швидкості ерозійного зношування відводів за наближеною до лінійної залежністю. Якщо витрата дисперсних частинок збільшується

від $0,0002$ кг/с до $0,0022$ кг/с величина максимальної швидкості ерозійного зношування відводів збільшується від $4,75 \cdot 10^{-9}$ кг/м² до $5,22 \cdot 10^{-8}$ кг/м². При малій витраті дисперсних частинок до $0,0006$ кг/с швидкість ерозійного зношування відводів є незначною і сильно не змінюється (рис. 6).

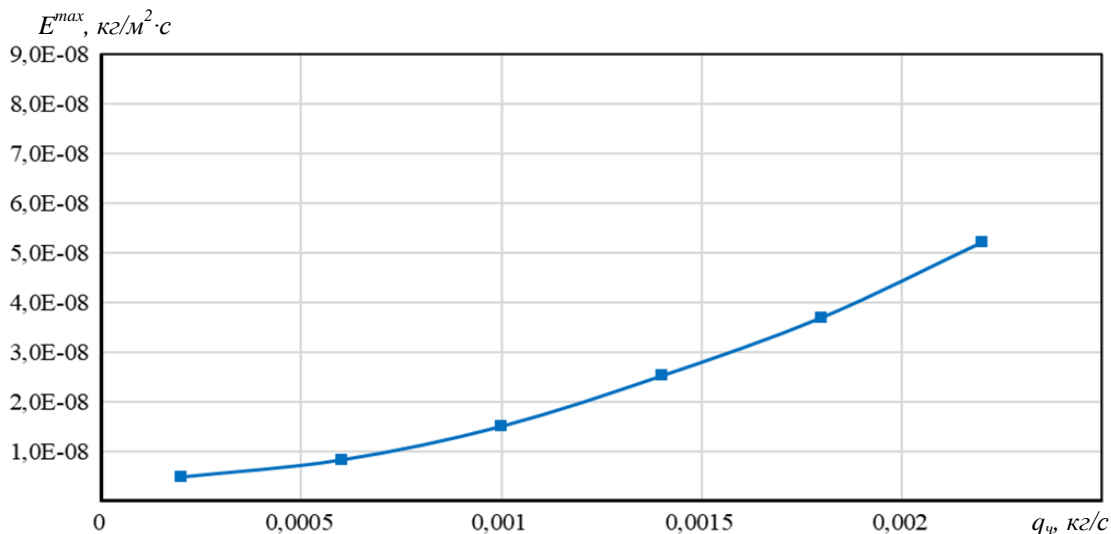


Рис. 6. Залежність максимальної швидкості ерозійного зношування від витрати дисперсних частинок

Висновок

Результати CFD моделювання показали, що місцезнаходження і величина ерозійного зношування відводів газопроводів у значній мірі залежать від параметрів багатофазних трубопровідних потоків.

Найбільший вплив на місцезнаходження ерозійного зношування відводів газопроводів має діаметр дисперсних частинок. При малих діаметрах

дисперсних частинок (до $0,01$ мм) поле максимального ерозійного зношування відводу є борозноподібними і з опуклого боку відводу простягається між кутом 45° і 80° відводу в місці виходу з нього газового потоку. Зі збільшенням діаметра дисперсних частинок поле максимального ерозійного зношування набуває зосередженості та все більше опуклим боком відводу поширюється до місця виходу з нього газового потоку. При великих діаметрах дисперсних частинок (більше $0,5$ мм) поле

максимального ерозійного зношування стає видовженим (шнуроподібним) і простягається між кутом 60° і 90° відводу і поширюється на частину привареної до відводу труби. Швидкість газового потоку та витрата дисперсних частинок на місцезнаходження поля максимального ерозійного зношування не чинить значного впливу.

Величину ерозійного зношування відводів газопроводів найбільше залежить від діаметра дисперсних частинок і швидкість газового потоку, а найменше від витрати дисперсних частинок. Чим більший розмір дисперсних частинок і швидкість газового потоку тим більша швидкість ерозійного зношування відводів. У разі збільшення діаметра дисперсних частинок від 0,005 мм до 1,0 мм максимальна швидкість ерозійного зношування відводів збільшується в 70 раз, а у разі збільшення швидкості газового потоку від 4 м/с до 19 м/с максимальна швидкість ерозійного зношування відводів збільшується в 35 раз. Якщо ж збільшувати витрату дисперсних частинок від 0,0002 кг/с до 0,0022 кг/с величина максимальної швидкості ерозійного зношування відводів збільшується в 11 разів.

Література

1. Doroshenko, Ya., Doroshenko, Ju., Zapukhliak, V., Poberezhny, L., Maruschak, P. (2019) Modeling computational fluid dynamics of multiphase flows in elbow and T-junction of the main gas pipeline. *Transport*, 34, 1, 19–29.
2. Doroshenko, Ya. V., Marko, T. I., Doroshenko, Yu. I. (2017) The study of erosive wear of the shaped elements of compressor station manifold of a gas pipeline. *Journal of Hydrocarbon Power Engineering*, 3, 2, 65–78.
3. Singh, V., Kumar, S., Mohapatra, S. (2019) Modeling of erosion wear of sand water slurry flow through pipe bend using CFD. *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 12, 3, 679–687.
4. Zhang, J., Kang, J., Jianchun, J., Gao, J. (2016) Study on erosion wear of fracturing pipeline under the action of multiphase flow in oil & gas industry. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 32, 334–346.
5. Zhang, H., Tan, Y., Yang, D., Trias, F., Jiang, S., Sheng, Y., Oliva, A. (2012) Numerical investigation of the location of maximum erosive wear damage in elbow: Effect of slurry velocity, bend orientation and angle of elbow. *Powder Technology*, 217, 467–476.
6. Mekhail, T., Aissa, W., Hassanein, S., Hamdy, O. (2011) CFD simulation of dilute gas-solid flow in 90° square bend. *Energy and Power Engineering*, 3, 246–252.
7. Ansari, M., Mohammadi, S., Oskouei, M. (2012) Two-phase gas/liquid-solid flow modelling in 90° bends and its effect on erosion. *Global Journal of researches in engineering Mechanical and mechanics engineering*, 12, 1, 35–44.
8. Lin, N., Lan, H., Xu, Y., Cui, Y., Barber, G. (2015) Coupled effects between solid particles and gas velocities on erosion of elbows in natural gas pipelines. *Procedia Engineering*, 102, 893–903.

9. Ryabov, A., Kudryavtsev, A., Voronkov, O., Haritonov, A., Maltsev, A., Melnikov, I., Kiselev, M., Straw, M. (2014) Numerical analysis of erosion of gas-pipeline elements. *STAR: materials of Global conference, Vienna, 17-19 March 2017 year*. Vienna, 17.
10. Dosanjh, S., Humphrey, J. (1985) The influence of turbulence on erosion by a particle laden fluid jet. *Wear*, 102, 4, 309–330.
11. Hinze, J. O. (1975) *Turbulence*. New York: McGraw-Hill, 790.
12. Finnie, I., Kabil, Y. (1965) On the formation of surface ripples during erosion. *Wear*, 8, 60–69.
13. ТУ У 27.2-05747991-001-2004. Деталі з'єднувальні і збірні одиниці магістральних і промислових трубопроводів на Рр до 10 МПа (100 кгс/см²). [Текст] - Чинний від 2005-06-01. Вид. офіц. м. Суми : ВАТ "СМНО ім. Фрунзе", 2004. 98 с.
14. Дорошенко, Я. В. Дослідження динаміки руху газу фасонними елементами обв'язки компресорної станції. [Текст] / Я.В. Дорошенко, Т.І. Марко, Ю.І. Дорошенко // Науковий вісник. - 2016. - № 1 (40). - С. 57–71.
15. Дорошенко, Я. В. Дослідження динаміки руху багатозначних потоків фасонними елементами обв'язки компресорної станції магістрального газопроводу. [Текст] / Я.В. Дорошенко, Т.І. Марко, Ю.І. Дорошенко // Міжнародний науковий журнал. - 2016. - № 7. - С. 68–77.
16. Smart, J. (2007) Movement of Black powder in gas pipeline. *Pipeline and Gas Journal*. October 2007, 82–85.
17. Smart, J., Winters, R. (1971) Transport of solids at low concentration in horizontal pipelines in *Advances in SolidLiquid Flow in Pipelines and its Applications*. Pergamon Press, 101–124.

References

1. Doroshenko, Ya., Doroshenko, Ju., Zapukhliak, V., Poberezhny, L., Maruschak, P. (2019) Modeling computational fluid dynamics of multiphase flows in elbow and T-junction of the main gas pipeline. *Transport*, 34, 1, 19–29.
2. Doroshenko, Ya. V., Marko, T. I., Doroshenko, Yu. I. (2017) The study of erosive wear of the shaped elements of compressor station manifold of a gas pipeline. *Journal of Hydrocarbon Power Engineering*, 3, 2, 65–78.
3. Singh, V., Kumar, S., Mohapatra, S. (2019) Modeling of erosion wear of sand water slurry flow through pipe bend using CFD. *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 12, 3, 679–687.
4. Zhang, J., Kang, J., Jianchun, J., Gao, J. (2016) Study on erosion wear of fracturing pipeline under the action of multiphase flow in oil & gas industry. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 32, 334–346.
5. Zhang, H., Tan, Y., Yang, D., Trias, F., Jiang, S., Sheng, Y., Oliva, A. (2012) Numerical investigation of the location of maximum erosive wear damage in elbow: Effect of slurry velocity, bend orientation and angle of elbow. *Powder Technology*, 217, 467–476.
6. Mekhail, T., Aissa, W., Hassanein, S., Hamdy, O. (2011) CFD simulation of dilute gas-solid flow in 90° square bend. *Energy and Power Engineering*, 3, 246–252.
7. Ansari, M., Mohammadi, S., Oskouei, M. (2012) Two-phase gas/liquid-solid flow modelling in 90° bends and its

effect on erosion. *Global Journal of researches in engineering Mechanical and mechanics engineering*, 12, 1, 35–44.

8. Lin, N., Lan, H., Xu, Y., Cui, Y., Barber, G. (2015) Coupled effects between solid particles and gas velocities on erosion of elbows in natural gas pipelines. *Procedia Engineering*, 102, 893–903.

9. Ryabov, A., Kudryavtsev, A., Voronkov, O., Haritonov, A., Maltsev, A., Melnikov, I., Kiselev, M., Straw, M. (2014) Numerical analysis of erosion of gas-pipeline elements. *STAR: materials of Global conference, Vienna, 17-19 March 2017 year*. Vienna, 17.

10. Dosanjh, S., Humphrey, J. (1985) The influence of turbulence on erosion by a particle laden fluid jet. *Wear*, 102, 4, 309–330.

11. Hinze, J. O. (1975) *Turbulence*. New York: McGraw-Hill, 790.

12. Finnie, I., Kabil, Y. (1965) On the formation of surface ripples during erosion. *Wear*, 8, 60–69.

13. TU U 27.2-05747991-001-2004. Detali zednuvalni i zbirni odyntsi mahistralnykh i promyslovykh truboprovodiv na Pp do 10 MPa (100 khs/sm 2 (2004)). Chynnyi vid 2005-06-01. Vyd. ofits. m. Sumy : VAT "SMNO im. Frunze", 98.

14. Doroshenko, Ya. V., Marko, T. I., Doroshenko, Yu. I. (2016) Doslidzhennia dynamiky rukhu hazu fasonnymy elementamy obv'iazky kompresornoї stantsii. *Naukovyi visnyk*, 1 (40), 57–71.

15. Doroshenko, Ya. V., Marko, T. I., Doroshenko, Yu. I. (2016) Doslidzhennia dynamiky rukhu bahatofaznykh potokiv fasonnymy elementamy obv'iazky kompresornoї stantsii mahistralnoho hazoprovodu. *Mizhnarodnyi naukovyi zhurnal*, 7, 68–77.

16. Smart, J. (2007) Movement of Black powder in gas pipeline. *Pipeline and Gas Journal*. October 2007, 82–85.

17. Smart, J., Winters, R. (1971) Transport of solids at low concentration in horizontal pipelines in *Advances in SolidLiquid Flow in Pipelines and its Applications*. Pergamon Press, 101–124.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М.Д. Середюк, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, Україна

Автор: ДОРОШЕНКО Ярослав Васильович
кандидат технічних наук, доцент
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
E-mail – ya.doroshenko@nung.edu.ua
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5853-3286>

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE TWO-PHASE FLOWS PARAMETERS ON THE EROSION WEAR OF THE GAS PIPELINES BENDS

Ya. Doroshenko

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine

CFD modeling (Computational Fluid Dynamics) Lagrangian approach (model DPM (Discrete Phase Model)) in ANSYS Fluent R19.2 Academic software complex investigates the influence of twophase gas flow velocity, size and flow rate of dispersed particles on the location and magnitude of gas pipeline bends erosion wear. The motion of the continuous phase was modeled by the solution of the Navier-Stokes equation and the continuity of the closed two-parameter $k-\epsilon$ turbulence model with the corresponding initial and boundary conditions. The motion trajectories of the dispersed particles were determined by integrating the force equations acting on each particle. The erosion wear of gas pipeline bends was modeled using the Finney equation.

The studies were performed for gas flow velocities at the inlet of the bend from 4 m/s to 19 m/s, the diameters of the dispersed particles 0.005 mm, 0.01 mm, 0.05 mm, 0.1 mm, 0.5 mm and 1.0 mm and the flow rate of the dispersed particles from 0.0002 kg/s to 0.0022 kg/s. Natural gas was selected as the continuous phase, and sand was dispersed. The geometry of each of the simulated taps and the pressure at the outlet of the bend were assumed to be the same.

The simulation results were visualized in the postprocessor software complex by constructing erosion rate velocity fields on gas pipeline bends. From the visualized results it is determined that the largest influence on the location of the erosion wear of the pipeline bends has the diameter of the dispersed particles and the least concentration. The influence of the two-phase gas flow parameters on the location of the field of their maximum erosion wear is determined. The graphical dependences of the maximum velocity of erosion wear of gas pipeline bends on each of the studied parameters of the two-phase gas stream are constructed. It has been determined that the diameter of the dispersed particles and the velocity of the gas stream have the greatest influence on the erosion wear of the erosion of the bends.

Keywords: bend, dispersed particle diameter, dispersed particle rate, dispersed phase, erosion wear, Finney equation, gas flow rate, Lagrange approach.