

## ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗНОШУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ДРОСЕЛЯ ФОНТАННОЇ АРМАТУРИ

Я. Т. Федорович, М. М. Лях, В. В. Михайлюк, Р. О. Дейнега, Б. І. Коваль

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська 15; тел. (03422) 42166,  
e-mail: no@nimg.edu.ua

*Эффективное использование машин и оборудования нефтегазовой отрасли невозможно без решения завдань, пов'язаних із підвищенням зносостійкості їх вузлів та деталей.*

*Одним із видів обладнання, що піддається інтенсивному зношуванню, є елементи фонтанних арматур (засувки, дроселі тощо). Під час експлуатації запірні елементи дроселя (наконечник та насадка) піддаються руйнівному впливу робочого середовища, у результаті чого відбувається гідро- і газодинамічне зношення наконечника та насадки. Як наслідок, неможливим стає регулювання режиму роботи фонтанної свердловини.*

*Метою роботи є застосування імітаційного моделювання для дослідження процесу зношування елементів дроселя фонтанної арматури і визначення ділянок, які піддаються найбільшому зносу, з врахуванням розмірів абразивних частинок у потоці газу.*

*За результатами імітаційного моделювання встановлено, що величина та місце максимального зносу елементів дроселя є різним і залежить від розміру піщинок. Величина зносу наконечника дроселя становить 15 мм/рік, причому найбільше зношується не наконечник, а насадка (46 мм/рік). Також встановлено, що величина зносу поверхонь, що розміщені перед насадкою, у порівнянні із зносом наконечника та насадки, є значно меншою та становить 3 мм/рік.*

*Виходячи з наведеного алгоритму імітаційного моделювання та отриманих результатів, побудована модель регульованого дроселя може слугувати базою для подальших його досліджень, а саме: оптимізації конуса наконечника з метою зменшення величини зносу самого наконечника; дослідження впливу швидкості перепаду тиску на величину зносу елементів дроселя.*

**Ключові слова:** фонтанна арматура, дросель, сідло, насадка, знос, фракція, імітаційне моделювання.

*Использование машин и оборудования нефтегазовой отрасли не может быть эффективно без решения задач, связанных с повышением износостойкости их узлов и деталей.*

*Одним из видов оборудования, которое подвергается интенсивному износу, являются элементы фонтанных арматур (задвижки, дроссели и т.п.). При эксплуатации запорные элементы дросселя (наконечник и насадка) подвергаются разрушительному воздействию рабочей среды, в результате чего происходит гидро- и газодинамический износ наконечника и насадки. Как следствие, становится невозможным регулирование режима работы фонтанной скважины.*

*Целью работы является применение имитационного моделирования для исследования процесса изнашивания элементов дросселя фонтанной арматуры и определение участков, подвергающихся наибольшему износу с учетом размеров абразивных частиц в потоке газа.*

*По результатам имитационного моделирования установлено, что величина и место максимального износа элементов дросселя зависит от размера песчинок. Величина износа наконечника дросселя составляет 15 мм/год, причем наиболее интенсивно изнашивается не наконечник, а насадка (46 мм/год). Также установлено, что величина износа поверхностей, расположенных перед насадкой, значительно меньше износа наконечника и насадки, и составляет 3 мм/год.*

*Исходя из приведенного алгоритма имитационного моделирования и полученных результатов модель регулируемого дросселя может послужить базой для последующих его исследований, а именно: оптимизации конуса наконечника с целью уменьшения величины износа самого наконечника; исследования влияния скорости и перепада давления на величину износа элементов дросселя.*

**Ключевые слова:** фонтанная арматура, дроссель, седло, насадка, износ, фракция, имитационное моделирование.

*The effectiveness of the use of machinery and equipment in the oil and gas industry is impossible without solving the problems associated with improving the wear resistance of their components and parts.*

*One of the types of equipment that is subject to intensive wear is the elements of the gushing fittings (valves, chokes, etc.). During operation, the throttle locking elements (tip and nozzle) are subject to the destructive influence of the working environment, as a result of which hydro and gas-dynamic wear of the tip and nozzle occurs. As a result, it becomes impossible to control the flow of a well.*

The aim of the work is to use simulation modeling to study the wear process of the elements of the choke of the Christmas tree fittings to determine the areas that are the most worn, taking into account the size of abrasive particles in the gas stream.

According to the results of simulation, it was found that the size and place of maximum wear of the throttle elements is different, depending on the size of the grains of sand. The amount of wear on the throttle tip is 15 mm/year, and most of all, it is not the tip that wears, but the nozzle (46 mm / year). It was also found that the amount of wear of the surfaces located in front of the nozzle, compared with the wear of the tip and the nozzle, is much less, and is 3 mm/year.

Based on the above simulation algorithm and the obtained results, the model of an adjustable choke can later serve as a basis for its subsequent research, namely: optimizing the tip cone to reduce the amount of wear of the tip itself; studies of the effect of speed and pressure drop on the amount of wear of the throttle elements; design optimization.

Key words: choke, saddle, nozzle, wear, fraction, simulation.

### Вступ

Ефективне використання машин і обладнання нафтогазової галузі неможливе без вирішення завдань, пов'язаних із підвищенням зносостійкості їх вузлів та деталей. До 80% відмов обладнання (особливо того, що контактує із абразивом) викликано зносом робочих поверхонь. При цьому величина зносу у більшості випадків не перевищує 0,3...1,0 мм.

Умови роботи деталей машин та обладнання нафтової і газової галузі характеризуються високими механічними і тепловими навантаженнями, наявністю агресивних середовищ, присутністю у зоні контактування робочих поверхонь абразивних частинок або безпосереднім контактом з високотвердими гірськими породами і ґрунтами.

Одним із видів обладнання, що піддається інтенсивному зношуванню, є елементи фонтанних арматур (засувки, дроселі тощо). Під час експлуатації елементи дроселя (наконечник та насадка) піддаються руйнівному впливу робочого середовища. У результаті контактування із середовищем, що містить абразивні частинки, відбувається газоабразивне зношення (рис. 1) пари дроселя "наконечник-насадка", внаслідок чого стає неможливим регулювання режиму роботи фонтанної свердловини.

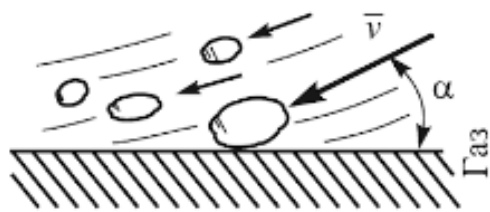


Рисунок 1 – Схема газоабразивного зношення

### Мета роботи та обґрунтування необхідності її виконання

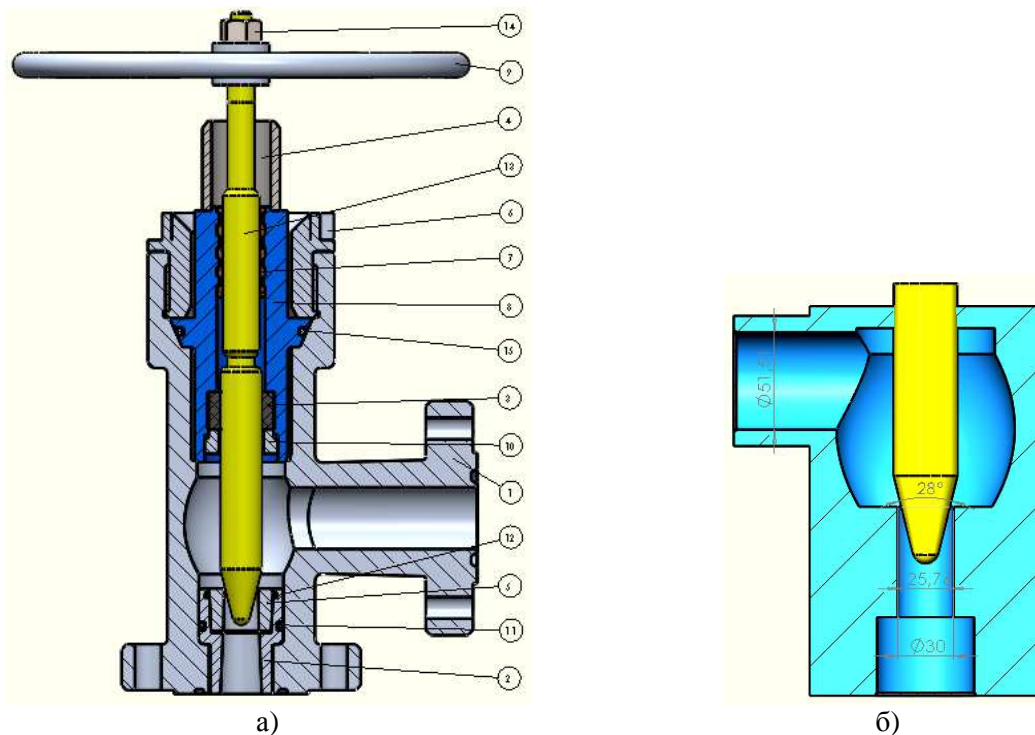
Метою роботи є застосування імітаційного моделювання для дослідження процесу зношування елементів дроселя фонтанної арматури з метою визначення ділянок, які піддаються найбільшому зносу з врахуванням розмірів абразивних частинок у потоці газу.

### Викладення основного матеріалу

Виходячи з мети роботи, яка полягає у дослідженні зношування елементів дроселя фонтанної арматури, встановлено, що має місце явище газоабразивного зношування. Газоабразивне зношування є процесом зношування поверхні деталі у результаті дії твердих частинок, що переміщуються у потоці газу. Дія абразивної частинки, що переноситься газовим потоком на поверхні тертя, супроводжується або ударом з подальшим утворенням у ній лунок, або ковзанням, що формує подряпини. Рівень динамічної дії і макрорельєф поверхні тертя насамперед залежить від орієнтації газоабразивного потоку до цієї поверхні, або так званим кутом атаки  $\alpha$ .

Прогнозувати величину та місце зношування частин складного за профілем поверхні обладнання є досить складно. Проте, з появою комп'ютерних програм, що реалізують метод кінцевих елементів, це стало значно простіше.

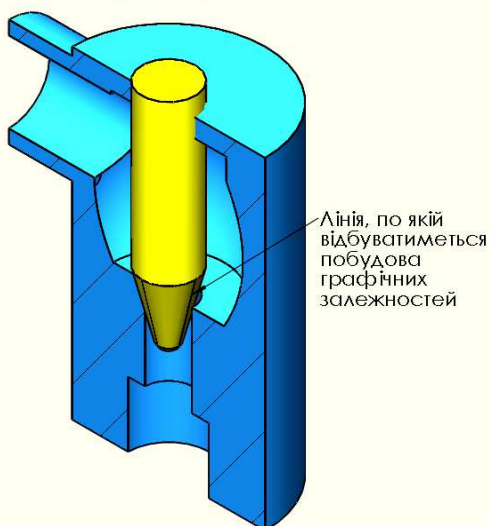
Для дослідження конструкції дроселя на зношування його робочих елементів побудовано тримірну модель у програмі SolidWorks (рис. 2, а), але для проведення імітаційного моделювання цю ж модель спрощено (рис. 2, б). Таке спрощення на похибку отриманих результатів не впливатиме, оскільки протічна частина дроселя залишилась такою ж, як і у неспрощеній конструкції.



1 – корпус дроселя; 2 – корпус насадки; 3, 11, 12, 15 – ущільнення; 4 – кришка; 5 – насадка; 6 – гайка; 7 – ходова втулка; 8 – перехідник; 9 – маховик; 10 – гайка; 13 – шпindelь; 14 – гайка;  
а – конструкція; б – спрощена модель для імітаційного дослідження

**Рисунок 2 – Дросель регульований**

Для побудови побудови графічних залежностей при обробці результатів у тримірній моделі дроселя слід побудувати необхідні лінії. Відомо, що елементом дроселя, який найбільше піддається дії зношування, є насадка. На її поверхні виконано необхідний ескіз для побудови графічних залежностей (рис. 3).



**Рисунок 3 – Ескіз на поверхні насадки дроселя**

Вхідними даними для проведення імітаційного моделювання прийнято:

- витрата газу на вході у дросель –  $0,02 \text{ м}^3/\text{с}$ ;
- тиск на виході дроселя – 2 МПа;
- робоче середовище – повітря;
- абразивні домішки – пісок;
- розміри абразиву – від 0,1 до 0,5 мм.

Також, відповідно до заданих вхідних умов слід визначити місце та величину зношування елементів дроселя.

На рис. 4 показано вікно програми, у якому відображено алгоритм роботи з моделлю дроселя.

На рисунках, що подані нижче, наведено результати розрахунку.

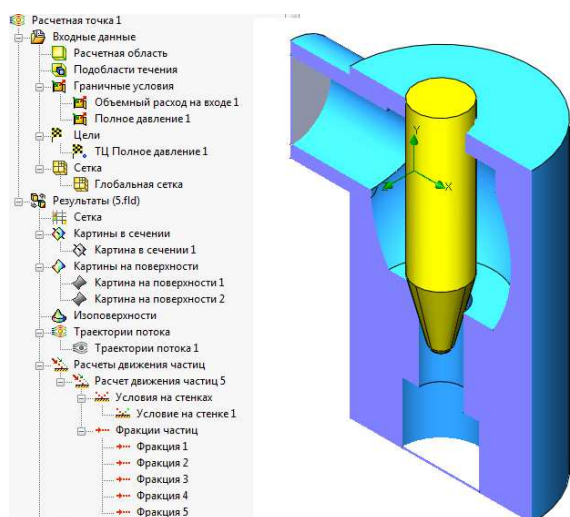
Проаналізувавши рис. 5, можна визначити перепад тиску у дроселі. У нашому випадку – близько 0,3 МПа.

Щодо швидкості руху газу, то максимальне значення становить 47 м/с.

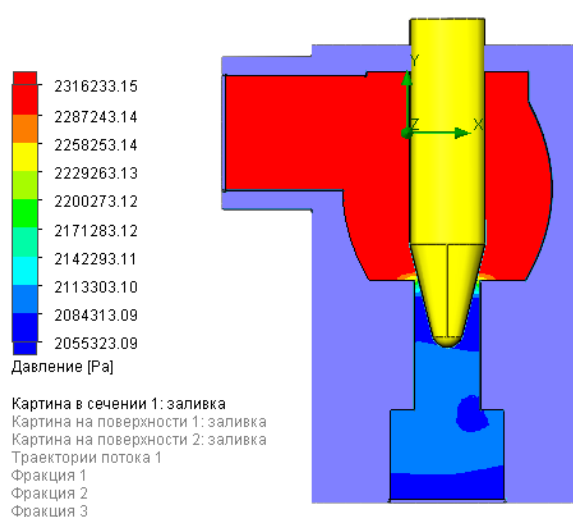
За рис. 7 можна зробити висновок, що за даних вхідних умов температура газу при проходженні через дросель підвищується на  $2^\circ\text{C}$ .

На рис. 8 зображено швидкість зношування поверхні наконечника при різних фракціях піску (від 0,1 мм до 0,5 мм).

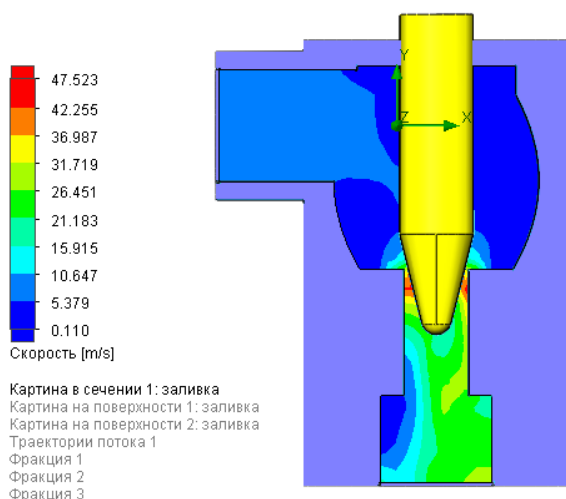
Проаналізувавши отримані результати, можна зробити висновок, що поведінка газу із різними фракціями піску є складною, оскільки при найменшому заданому розмірі частинки



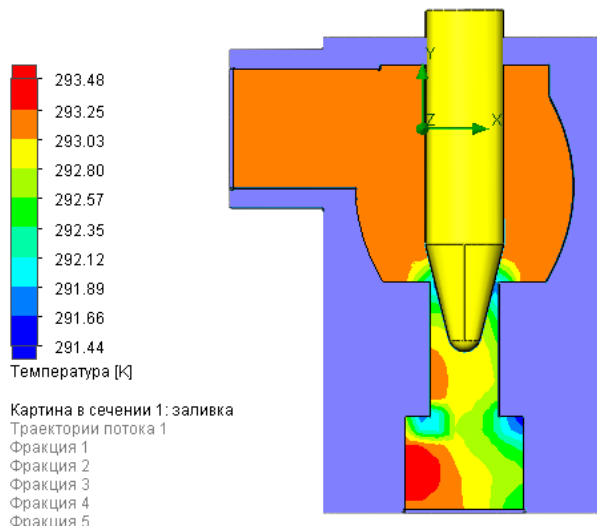
**Рисунок 4 – Вікно програми, у якому відображено алгоритм роботи з моделлю дроселя**



**Рисунок 5 – Розподіл тиску у поперечному перерізі дроселя**



**Рисунок 6 – Розподіл швидкості у поперечному перерізі дроселя**



**Рисунок 7 – Розподіл температури у поперечному перерізі дроселя**

піску величина зношування наконечника становить 16 мм/рік, і надалі із збільшенням розміру частинок не спостерігається лінійного збільшення величини зносу. Крім того, при різних розмірах частинок піску спостерігається переміщення зони зносу наконечника від протилежної від входу газу сторони (рис. 8, розмір частинок 0,1) до бокових сторін наконечника (рис. 8, розміри: 0,3; 0,4; 0,5).

Для побудови графічних залежностей зносу наконечника прийнято брати дві лінії на поверхні наконечника (рис. 9), які у тримірній моделі побудовані на площинах, кут між якими становить  $90^{\circ}$ .

На рис. 10 зображено величину зношення вздовж лінії 1, а на рис. 11 – вздовж лінії 2.

Отже, з порівняння рис. 10 та 11, максимальна величина зносу наконечника становить 15 мм/рік.

Також не менш важливим є питання величини зносу на інших внутрішніх поверхнях дроселя (окрім наконечника). Тому на рис. 12 зображено місця зносу поверхонь насадки дроселя, максимальне значення якого становить 46 мм/рік, а на рис. 13 – знос поверхонь перед насадкою дроселя (3 мм/рік).

### Висновки

Розвиток програмних продуктів для імітаційного моделювання фізичних процесів та явищ дає поштовх до вдосконалення існуючого обладнання, так і для розроблення нового. На прикладі дроселя фонтанної арматури досліджено процес зносу його елементів залежно від діаметру піщинок, що знаходяться у потоці газу.

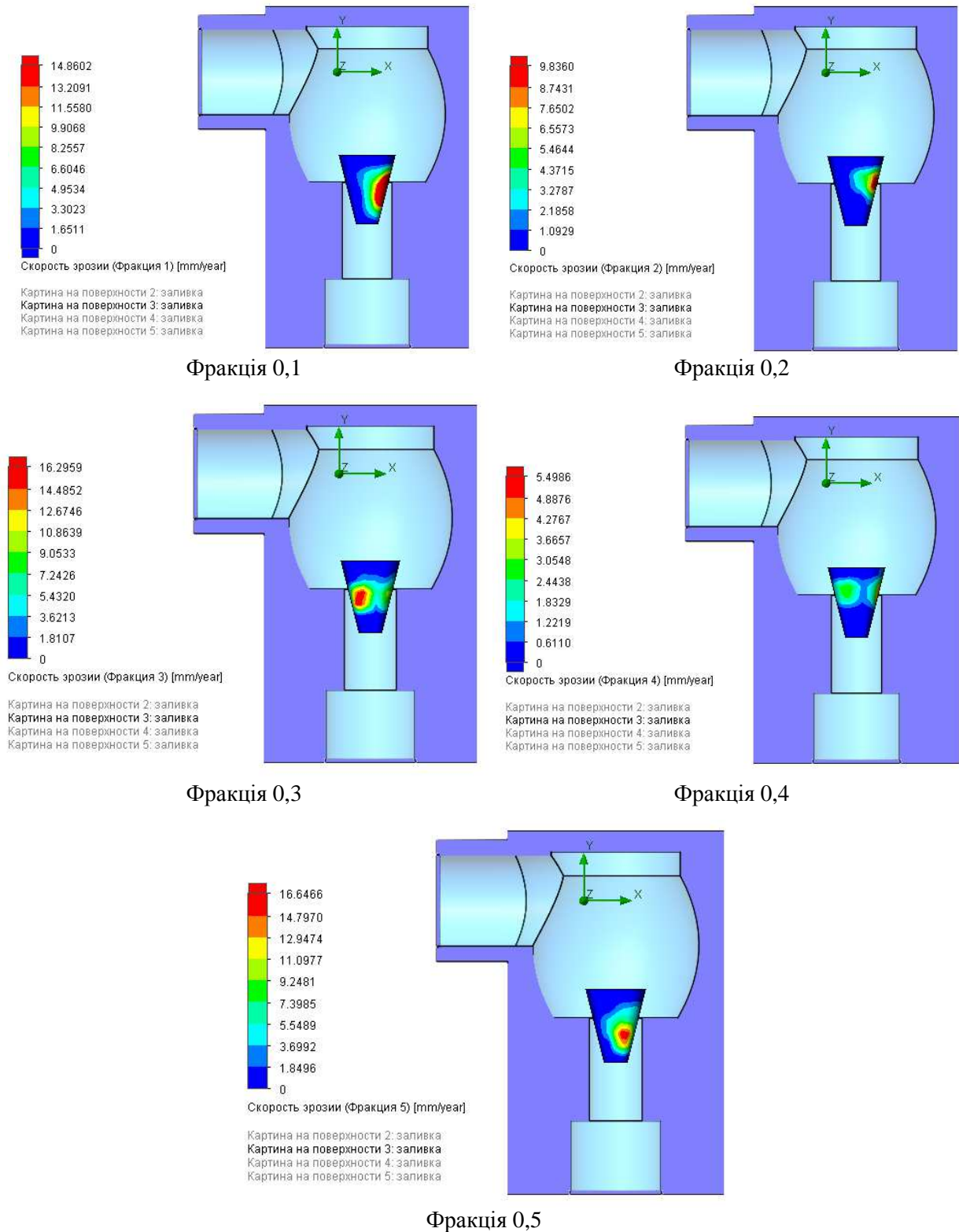


Рисунок 8 – Швидкість зношування поверхні наконечника при різних фракціях піску

За результатами імітаційного моделювання встановлено, що величина та місце максимального зносу елементів дротеля є різним і залежить від розміру піщинок. Величина зносу наконечника дротеля становить 15 мм/рік, причому найбільше зношується не сам наконечник, а

насадка (46 мм/рік). Також встановлено, що величина зносу поверхонь, що розміщені перед насадкою, порівняно зі зношенням наконечника та насадки, є значно меншою, та становить 3 мм/рік.

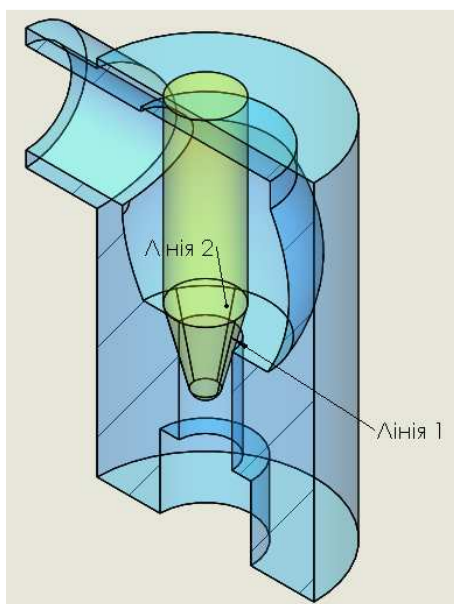


Рисунок 9 – Лінії, по яких будуються графічні залежності

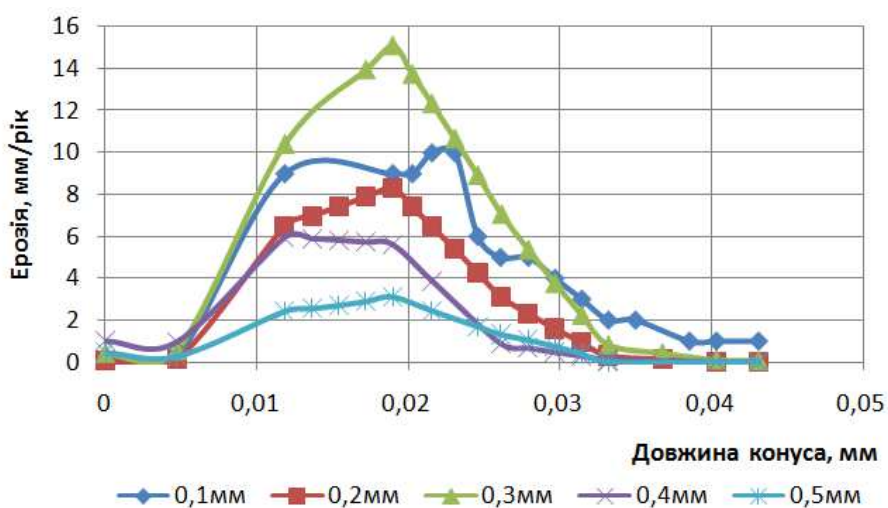


Рисунок 10 – Величина зносу по конусу для різних розмірів частинок піску (відповідно до рис. 9, лінія 1)

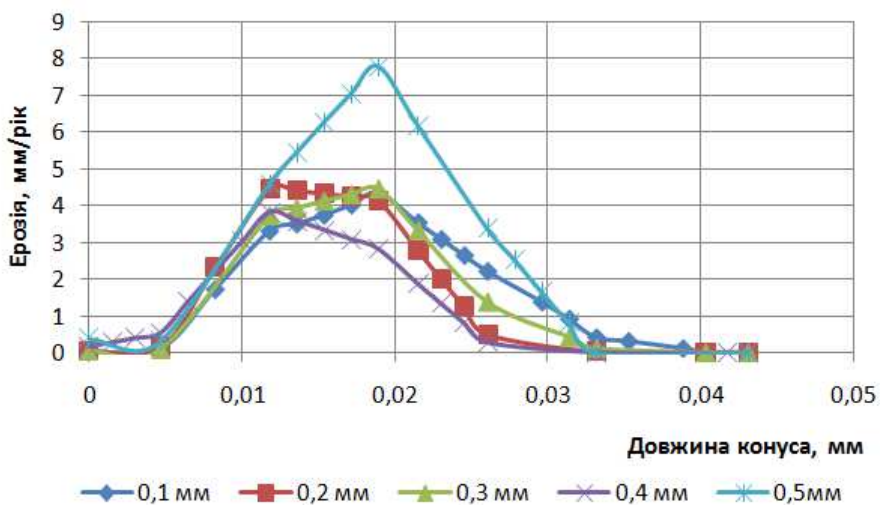


Рисунок 11 – Величина зносу по конусу для різних розмірів частинок піску (відповідно до рис. 9, лінія 2)

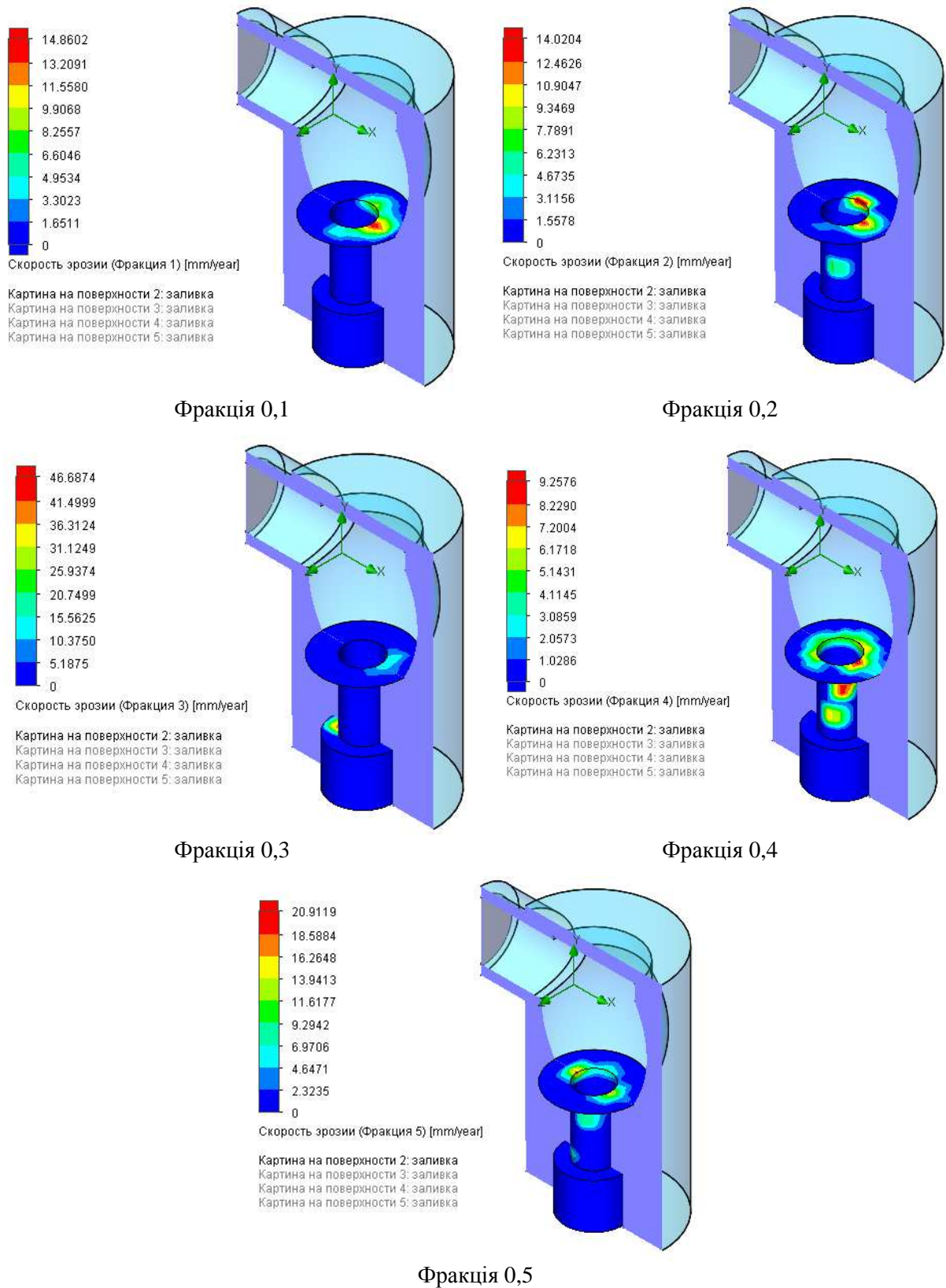


Рисунок 12 – Знос насадки дроселя

Виходячи з наведеного алгоритму імітаційного моделювання та отриманих результатів побудована модель регульованого дроселя у подальшому може слугувати базою для наступних його досліджень, а саме: оптимізації конуса

наконечника з метою зменшення величини зносу самого наконечника; дослідження впливу швидкості перепаду тиску на величину зносу елементів дроселя; оптимізації конструкції.

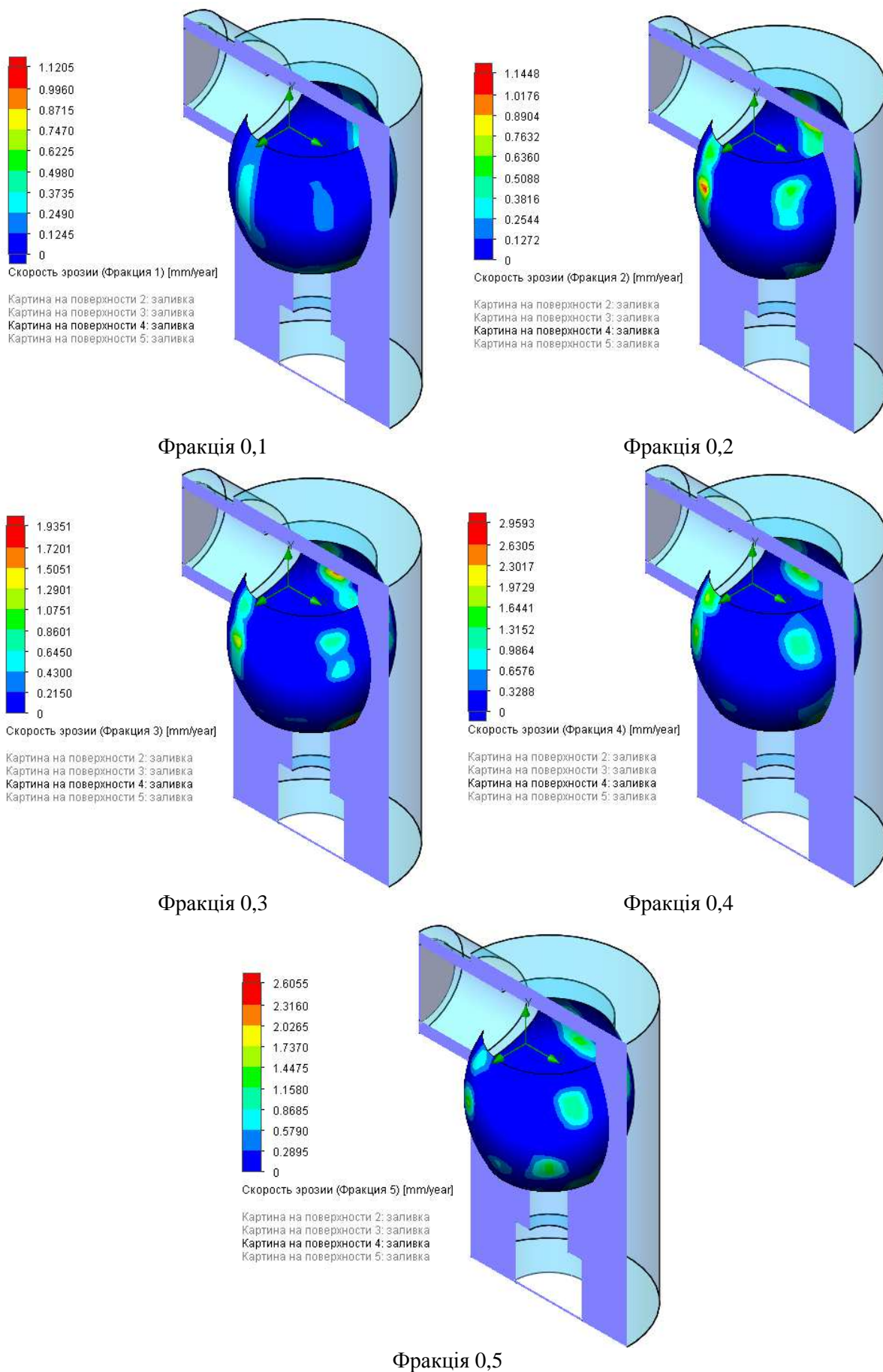


Рисунок 13 – Знос поверхнь перед насадкою дроселя



## Література

1. Федорович Я. Т. Машины та обладнання для видобутку нафти і газу: навч. посіб. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2015. 344 с.
2. Шульга В. Г., Бухаленко Е. И. Устьеовое оборудование нефтяных и газовых скважин: справочная книга. М. : Недра, 1978. 235 с.
3. Бойко В. С. Розробка та експлуатація нафтових родовищ : підручник. 3-є доповнене видання. Київ : Реал-Принт, 2004. 695 с.
4. Класифікація корозійних умов експлуатації газоконденсатних родовищ ГПУ "Харківгазвидобування" за концентрацією іонів заліза [Текст] / А. П. Мельник, Л. Д. Шашора, Я. І. Сенишин, Я. М. Слесар, Л. Ф. Никифорова, Г. О. Хоменко. *Питання розвитку газової промисловості України*. Харків : УкрНДГаз, 2002. Вип. XXX. С. 88–94.
5. Бабаев С. Г., Зильберман Л. И. Причины низкой долговечности и характерные виды разрушений деталей фонтанной арматуры. *Машины и нефтяное оборудование*. 1968. № 8.
6. Радкевич О. І., Чумало Г. В., Юркевич Р. М. Корозійно-механічна поведінка захисних покривів запірної арматури обладнання нафтогазових родовищ. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. 2009. Том. 45. № 6. С. 117-121.
7. Попов В. С. Зносостійкість сплавів, відновлення та зміцнення деталей машин : навчальний посібник. Запоріжжя : ВАТ «Мотор Січ», 2006. 420 с.
8. Алямовский А. А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи. М. : BHV, 2012. 445 с.

## References

1. Fedorovich Ya. T. Mashyny ta obladnannia dlia vydobutku nafty i hazu : navch. posib. Ivano-Frankivsk: IFNTUNH, 2015. 344 p.
2. Shulga V. G., Buhalenko E. I. Ustevoe oborudovanie neftyanyh i gazovyh skvazhin: spravochnaya kniga. M. : Nedra, 1978. 235 p.
3. Boiko V. S. Rozrobka ta ekspluatatsiia naftovykh rodovyshch : pidruchnyk. 3-ye dopovnene vydannia. Kyiv : Real-Prynt, 2004. 695 p.
4. Klyasyfikatsiia koroziiynykh umov ekspluatatsii hazokondensatnykh rodovyshch HPU "Kharkivhazvydobuvannia" za kontsentratsiieiu ioniv zaliza [Tekst] / A. P. Melnyk, L. D. Shashora, Ya. I. Senyshyn, Ya. M. Slesar, L. F. Nykyforova, H. O. Khomenko. *Pytannia rozvytku hazovoi promyslovosti Ukrainy*. Kharkiv, 2002. Vyp. XXX. P. 88–94.
5. Babaev S. G., Zilberman L. I. Prichiny nizkoj dolgovechnosti i harakternye vidy razrushenij detalej fontannoj armatury. *Mashyny i neftyanoie oborudovanie*. 1968. No 8.
6. Radkevych O. I., Chumalo H. V., Yurkevych R. M. Koroziiino-mekhanichna povedinka zakhysnykh pokryviv zapirnoi armatury obladnannia naftohazovykh rodovyshch. *Fizyko-khimichna mekhanika materialiv*. 2009. Tom 45. No 6. p. 117-121.
7. Popov V. S. Znosostiikist splaviv, vidnovlennia ta zmitsnennia detalei mashyn: navchalnyi posibnyk. Zaporizhzhia : VAT «Motor Sich», 2006. 420 p.
8. Alyamovskij A. A. SolidWorks Simulation. Kak reshat prakticheskie zadachi. M. : BHV, 2012. 445 p.