

УДК 622.242.6

**В.С. БІЛЕЦЬКИЙ**, д-р техн. наук

(Україна, Харків, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"),

**П.О. МОЛЧАНОВ, В.М. САВИК**, кандидати техн. наук

(Україна, Полтава, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка)

### **ЗАСТОСУВАННЯ ГІДРОЦИКЛОНІВ У ЦИРКУЛЯЦІЙНІЙ СИСТЕМІ БУРОВОГО РОЗЧИНУ**

*Постановка та стан вивчення проблеми.* Гідроциклони широко використовують при бурінні свердловин у циркуляційній системі бурового розчину для його очищення від піску і частинок вибуреної породи, що виносяться на денну поверхню.[1]

У муловідділювачах ИГ-45 використовуються шістнадцять гідроциклонів діаметром 75 мм, розташованих у два ряди. Гідроциклони, які використовуються в ПГ-50 та ИГ-45, переважно розрізняються розмірами однойменних деталей. Корпус гідроциклонів має роз'ємну конструкцію і складається із силумінових литих циліндра, конуса і обойми для шламової насадки. Для запобігання від зносу і корозії внутрішні поверхні корпуса, що контактують з промивальною рідиною, покривають гумовим чохлам. Насадки виготовляють із зносостійких сталей та сплавів.

Підбір раціональних розмірів гідроциклонів, вибір їх необхідної кількості у муловідділювачах здійснюється, як правило, емпірично.

*Мета статті* – оптимізація конструкції муловідділювача за допомогою комп'ютерного моделювання, а саме удосконалення гідроциклона. Виявлення зв'язків між геометричними розмірами гідроциклона й експлуатаційними властивостями муловідділювачів. Це дозволить підвищити швидкість очистки, що в цілому позитивно вплине на якість бурового розчину.

*Основний матеріал і результати.* Гідроциклони застосовуються для класифікації по крупності і знешламлювання дрібнозернистих та тонких продуктів. Вони використовуються також для згущення пульпи і збагачення. В промисловості використовуються гідроциклони діаметром від 25 до 1400 мм. На збагачувальних фабриках застосовують головним чином циліндроконічні гідроциклони малих типорозмірів з кутом конусності  $10^\circ$  і великих типорозмірів з кутом конусності  $20^\circ$ . Гідроциклони малих діаметрів працюють з відносно високим тиском, великих діаметрів – з низьким тиском. Залежно від призначення гідроциклони мають різний кут при вершині конічної частини корпуса (кут конусності): згущувальні –  $10^\circ$ ; класифікаційні –  $20^\circ$ ; важкосередовищні –  $40-60^\circ$ ; збагачувальні (короткоконусні) – понад  $90^\circ$ .

Класифікаційний гідроциклон, який, зокрема, використовується для очистки бурового розчину, являє собою циліндроконічний апарат (рис. 1). Живлення під тиском подається у верхню частину циліндра за допомогою тангенціально розташованої живильної насадки 3. Злив вивантажується через зливний патру-

бок 4 у циліндричній частині 1 гідроциклону, а піски – через піскову насадку 5, розташовану в конічній частині 2. У результаті тангенціального введення вихідної пульпи в гідроциклон вона здобуває інтенсивний обертальний рух з частотою, що досягає декількох тисяч обертів на хвилину. У таких умовах всередині гідроциклону виникає відцентрова сила, яка на декілька порядків переважає силу ваги.

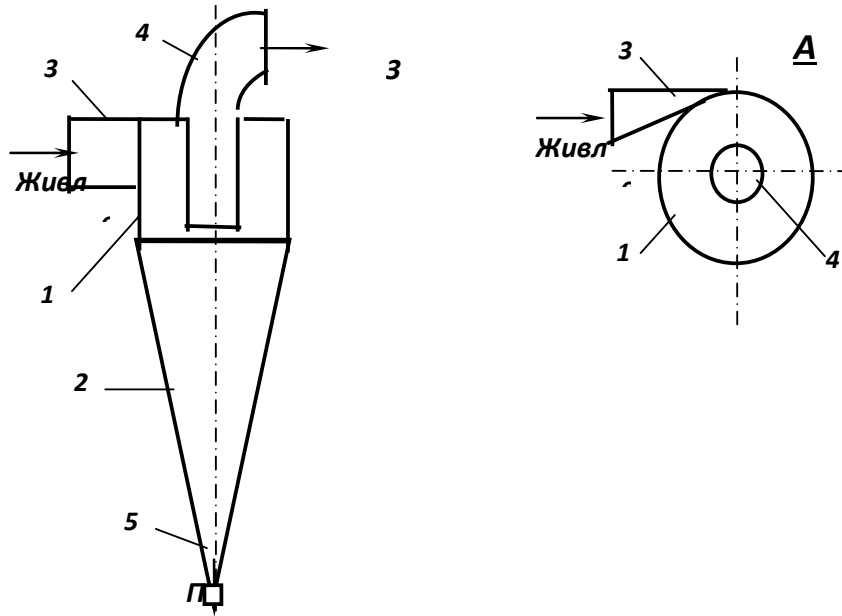


Рис. 1. Гідроциклон:

1 – циліндрична частина; 2 – конічна частина; 3 – живильний патрубок;  
4 – зливний патрубок; 5 – піскова насадка

При вихровому русі пульпи в гідроциклоні утворюються два обертових потоки – зовнішній, що переміщається уздовж стінок конуса вниз до піскової насадки 5, і внутрішній циліндричний, спрямований уверх уздовж осі до зливного патрубку 4. Поблизу геометричної осі апарата відцентрова сила стає настільки великою, що відбувається розрив суцільності потоку і утворення повітряного стовпа діаметром до 0,7 від діаметра зливного патрубку.

Швидкість руху частинки в гідроциклоні можна представити як векторну суму тангенціальної  $V_t$ , радіальної  $V_r$  і осьової  $V_x$  складових. Тангенціальна швидкість пульпи збільшується зі зменшення відстані від осі, тому в гідроциклоні спостерігається різке зростання відцентрової сили від стінок до осі. Осьова швидкість частинки в зовнішньому потоці спрямована вниз, а в внутрішньому – уверх. Положення частинки по радіусу гідроциклону визначає, куди вона буде винесена вертикальним потоком – у злив або у піски. Незважаючи на те, що рух пульпи в гідроциклоні носить турбулентний характер, обтікання більшої частинки має ламінарний характер, тому що відносні швидкості обтікання невеликі. Диференціальне рівняння руху частинки в радіальному напрямку:

## **Гравітаційна сепарація**

---

$$m \frac{dV_r}{dt} = \frac{\pi d^3 (\delta - \Delta)}{6} \cdot \frac{V_t^2}{r} - 3\pi\mu V_r d, \quad (1)$$

відси радіальна швидкість переміщення частинки в рівноважному стані:

$$V_r = \frac{V_t^2 (\delta - \Delta)}{18\mu r} \cdot d^2, \quad (2)$$

де  $V_r$  і  $V_t$  – радіальна і тангенціальна швидкості, м/с;  $d$  – діаметр частинки, м;  $\delta$  і  $\Delta$  – густини частинки і середовища, кг/м<sup>3</sup>;  $\mu$  – в'язкість середовища, Па·с;  $r$  – радіус обертання частинки, м.

На показники роботи гідроциклонів впливають конструктивні і технологічні фактори. До конструктивних факторів належать: форма і геометричні розміри гідроциклона, піскової насадки, живильного і зливного патрубків, спосіб установки гідроциклона; до технологічних факторів: тиск на вході і властивості оброблюваної пульпи (вміст твердого, його гранулометричний і речовинний склад).

Продуктивність гідроциклона по твердому розраховується за формулою:

$$Q = 200D^2, \text{ т/год}, \quad (3)$$

де  $D$  – діаметр гідроциклона, м.

Обраний гідроциклон повинен бути перевірений на продуктивність по пісках  $Q_n$ . Питома продуктивність гідроциклона по пісках  $q_n$ , що проходять через піскову насадку обраного розміру  $d_n$  складає:

$$q_n = Q_n / (0,785nd_n^2), \text{ т/год} \cdot \text{м}^2, \quad (4)$$

де  $Q_n$  – продуктивність гідроциклонів по пісках, т/год;  $n$  – число обраних в операції гідроциклонів.

Нормована питома продуктивність вибраного гідроциклона повинна складати  $5 \cdot 10^3 \div 2,5 \cdot 10^4$  т/год·м<sup>2</sup>. Якщо питома продуктивність не входить у зазначений інтервал, варто прийняти нову насадку і перевірити номінальну крупність зливу при новому діаметрі насадки  $d_n$ .

При виборі гідроциклона його типорозмір визначають, виходячи з необхідної продуктивності по живленню, з урахуванням крупності одержуваного зливу.

Номінальна крупність частинок зливу  $d_n$  гідроциклона може бути визначена за формулою:

$$d_n = 15 \cdot \left( \frac{D d_3 \beta}{k_D d_n (\delta - 1) \sqrt{p_0}} \right)^{0,5}, \text{ мкм}, \quad (5)$$

де  $D$ ,  $d_3$ ,  $d_n$  – діаметр гідроциклона, зливної і піскової насадок, м;  $\beta$  – вміст твердого в живленні гідроциклона, %;  $\delta$  – об’ємна густина твердої фази, т/м<sup>3</sup>;  $k_D$  – коефіцієнт, що залежить від діаметра гідроциклона;  $p_0$  – тиск на вході в гідроциклон, МПа.

Наведені вище характеристичні параметри гідроциклона можуть бути одержані експериментально, зокрема, за допомогою програми SolidWorks з прикладним модулем Flow Simulation. Використання цих моделей дає змогу обґрунтування модернізації гідроциклона, адаптації його конструкції до тих, чи інших умов експлуатації та вихідної сировини.

На рисунках 2-7 наведено результати моделювання гідроциклона-аналога і модернізованого гідроциклона у модулі Flow Simulation програмного середовища SolidWorks.

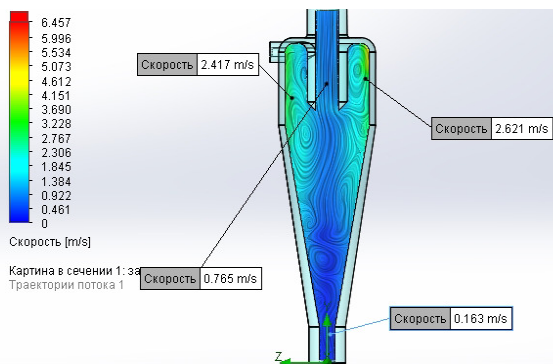


Рис. 2. Моделювання поля швидкостей гідроциклона-аналога (м/с), при витраті 1 л/с

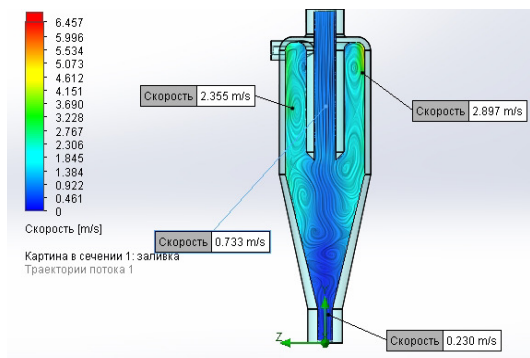


Рис. 3. Моделювання поля швидкостей гідроциклона -модернізованого (м/с), при витраті 1 л/с

Для визначення раціональних або оптимальних конструктивних та експлуатаційних рішень використовують моделювання гідроциклона з одержанням поля швидкості, турбулентності, тиску тощо. Нами виконано порівняння поля швидкостей гідроциклона-аналога і модернізованого (м/с), при витраті 1 л/с та поля завихрення гідроциклона-аналога і модернізованого (1/с), при витраті 1 та 2 л/с.

## Гравітаційна сепарація

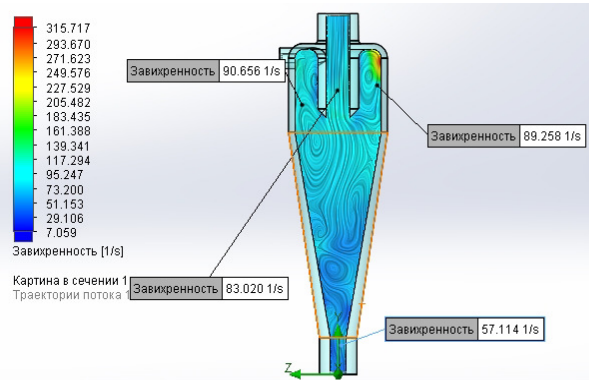


Рис. 4. Моделювання поля завихрення гідроциклона-аналога (1/с), при витраті 1 л/с

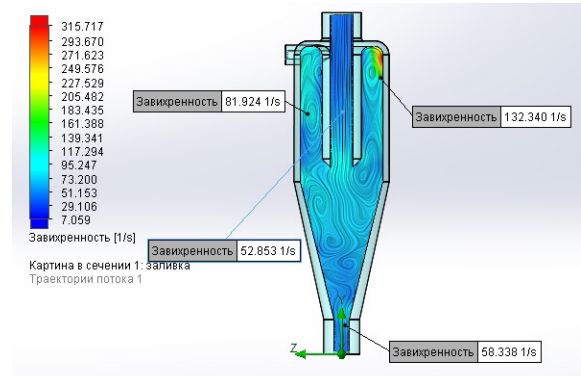


Рис. 5. Моделювання поля завихрення гідроциклона-модернізованого (1/с), при витраті 1 л/с

Дослідження показало, що поле швидкостей гідроциклона-аналога і модернізованого практично ідентичні (рис. 2, 3).

При дослідженні полів швидкостей спостерігається збільшення швидкості пульпи в пристінній циліндричній зоні модернізованого циклона з 0,163 до 0,230 м/с. Відповідно збільшується і відцентрова сила, що позитивно впливає на технічні характеристики циклона.

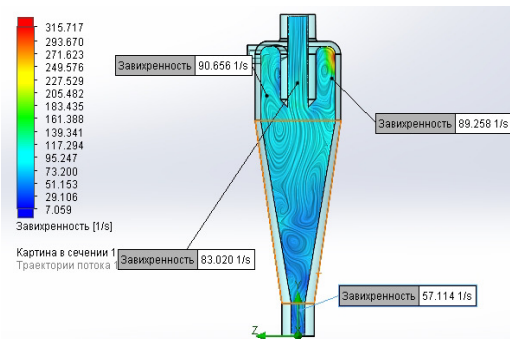


Рис. 6. Моделювання поля завихрення гідроциклона-аналога (1/с), при витраті 2 л/с

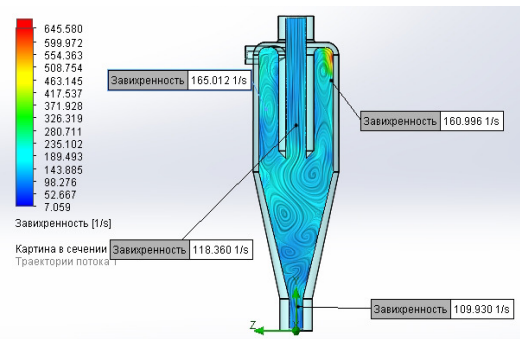


Рис. 7. Моделювання поля завихрення гідроциклона-модернізованого (1/с), при витраті 2 л/с

При дослідженні на завихрення спостерігаються різні тенденції в залежності від витрат вихідної пульпи. При витратах 1 л/с завихреність в робочій зоні модернізованого гідроциклона менше ніж у гідроциклона-аналога. При витратах 2 л/с спостерігається зворотня картина, а саме завихрення 89,225 зростає до 160,996 (1/с), що дає змогу стверджувати про негативну динаміку зміни цього фактора зі збільшенням витрат рідини.

### Висновки

1. Проведені дослідження засвідчили доцільність внесення змін геометричних параметрів гідроциклона муловідділювача, що дасть змогу збільшити

ефективність очистки розчину за рахунок зменшення завихреності потоків розчину в корпусі гідроциклону.

2. Поєднання аналітичного та емпіричного підходу до вибору раціональних розмірів гідроциклонів, їх необхідної кількості у муловідділювачах, режимних параметрів дозволяє обґрунтувати вдосконалення вузла муловідділювача циркуляційної системи бурового розчину і в цей спосіб збільшити ефективність роботи всієї системи.

### Список літератури

1. Проектування бурового і нафтопромислового обладнання / В.С. Білецький, В.Г. Вітрик, А.М. Матвієнко та ін. – Полтава: ПолтНТУ, 2015. – 196 с.
2. Бойко В.С. Розробка та експлуатація нафтових родовищ. 4-е доп. вид. – К.: Міжнародна економічна фундація, 2008. – 488 с.
3. Машина та обладнання для видобування нафти і газу: довідниковий посібник / В.М. Світлицький, С.В. Кривуля, А.М. Матвієнко, В.І. Коцаба. – Харків: КП "Міська друкарня", 2014. – 352 с.
4. Яремійчук Р.С. Освоєння свердловин: довідникове видання. – Львів: Центр Європи, 2007. – 368 с.
5. Костриба І.В. Основи конструювання нафтогазового обладнання: Навч. Посібник. – Івано-Франківськ: Факел, 2007 – 256 с.

© Білецький В.С., Молчанов П.О., Савик В.М., 2017

*Надійшла до редколегії 14.04.2017 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. М.І. Сокуром*