

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

**МОДЕЛЮВАННЯ ІМПЕЛЕРНОГО ПЕРЕМІШУВАЧА СИСТЕМИ
ПРИГОТУВАННЯ БУРОВОГО РОЗЧИНУ**

**Методичні вказівки
до практичних занять з дисципліни
«Моделювання технологічних процесів в нафтогазовій галузі»
для студентів спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та технології»**

Затверджено
редакційно-видавничою
радою НТУ «ХП»,
протокол № 3 від 06.10.2021 р.

Харків
НТУ «ХП»
2021

МОДЕЛЮВАННЯ ІМПЕЛЕРНОГО ПЕРЕМІШУВАЧА СИСТЕМИ ПРИГОТУВАННЯ БУРОВОГО РОЗЧИНУ. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Моделювання технологічних процесів в нафтогазовій галузі» для студентів спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та технології» / В. С. Білецький. – Харків : НТУ «ХП», 2021. – 10 с.

Укладач В. С. Білецький

Рецензент В. М. Орловський

Кафедра видобування нафти, газу та конденсату

ПРАКТИЧНА РОБОТА 28

МОДЕЛЮВАННЯ ІМПЕЛЕРНОГО ПЕРЕМІШУВАЧА СИСТЕМИ ПРИГОТУВАННЯ БУРОВОГО РОЗЧИНУ¹²

Об'єкт моделювання

Перемішувач механічний бурового розчину ПБР-7,5 призначений для гомогенізації бурового розчину в ємності з метою запобігання відстою. Технічна характеристика перемішувача: діаметр лопаті 900 мм, редуктор черв'ячний універсальний, передавальне число 25, електродвигун потужністю 7,5 кВт, напруга 380 В, частота обертання вала двигуна 1500 хв⁻¹, частота обертання лопаті 60 ± 5 хв⁻¹. Передбачалася можливість регулювання частоти обертання імпелера мішалки.

Проблема зашламування резервуарів бурового розчину, що пов'язано з недостатньо ефективною його гомогенізацією – типова для сучасних циркуляційних систем при бурінні. Шламкові осади в практиці регенерації бурового розчину ліквідують розмивом гідромоніторами, застосуванням байпасів та іноді вручну – механічним руйнуванням спресованого осаду в застійних зонах

5.2.8.1. Приклад моделювання імпелерного перемішувача із застосуванням програми SolidWorks

Мета моделювання одноімпелерної мішалки – її модернізація шляхом підбору імпелера, який забезпечує найбільш рівномірне поле швидкостей пульпи по всьому робочому простору резервуара.

Моделювання традиційної³ для циркуляційної системи бурового розчину конструкції одноімпелерної мішалки виконувалося за допомогою комп'ютерної системи Flow Simulation програмного середовища SolidWorks, що дає можливість моделювання процесів ламінарного та турбулентного протікання рідин. Моделювання виконувалося в два

¹ На основі досліджень: Модернізація змішувача ПБР-7,5 циркуляційної системи бурового розчину / В. С. Білецький, І. В. Олефір // Збірник факультету нафти і газу та природокористування Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. – Полтава : ПНТУ, 2016. – Вип. 9. – С. 50–55.

² Нумерація елементів тексту збережена за посібником Білецький В.С. Моделювання у нафтогазовій інженерії (Навчальний посібник) – Харків: НТУ «ХПІ», 2021. – 328 с.

³ Моделювання «нетрадиційних» - багатоімпелерних мішалок виконано в нашій роботі: Білецький В.С., Міщук Ю.С. Застосування модуля Flow Simulation програмного середовища SolidWorks для дослідження і проектування гідро- та аеромеханічних пристроїв (на прикладі перемішувача «Турботрон») // Збагачення корисних копалин : Наук.-техн. зб. – 2016. – Вип. № 65 (105).

етапи – спершу одержання статичної 3D моделі мішалки з турбінним імпелером з використанням для дослідів різних конструкцій лопатей, а потім одержання динамічної картини поля швидкостей пульпи для різних конструкцій мішалок.

Задаємо розрахункову область по всьому об'єму резервуара, який дорівнює 20 м^3 . Вихідними фізичними характеристиками вказуємо типи потоку – ламінарний і турбулентний, адіабатичний процес.

Для лопатей вказуємо область обертання з кутовою швидкістю 75 хв^{-1} . Робоче середовище в резервуарі – буровий розчин густиною 1250 кг/м^3 . На рис. 1 показана одержана статична 3D-модель змішувача ПБР-7,5.

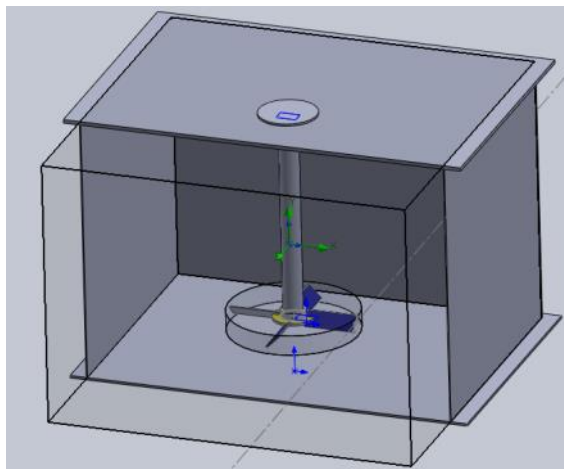


Рисунок 5.44.– Статична 3D-модель змішувача ПБР-7,5 в резервуарі 20 м^3

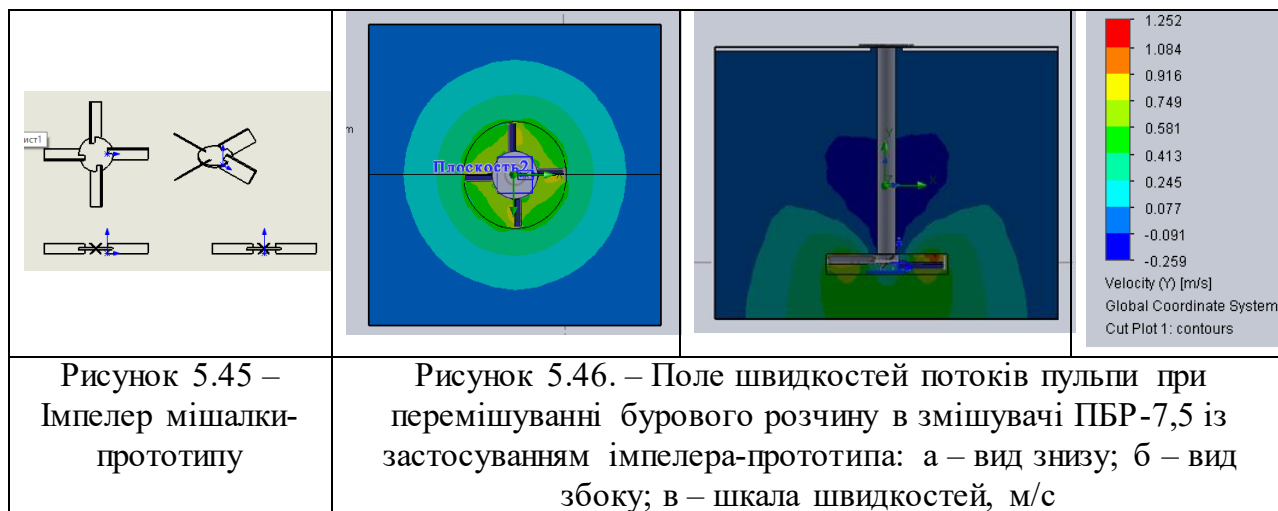
Для отримання об'єктивних результатів всі дослідів проводилися в однакових термодинамічних умовах, габаритні розміри крильчатки і вала дорівнюють 900 мм і 1740 мм відповідно. Розміри перетину робочої ємності резервуара $3000 \times 3000 \text{ мм}$. Для дослідів було обрано напівзакриті турбіни, які зарекомендували себе в нафтохімічній промисловості.

Дослід 1. Об'єкт досліджень – пристрій-прототип. Обладнаний, стандартним відкритим чотирилопатевим імпелером з лопатями розташованими під кутом 45° (рис. 5.45).

Найбільша швидкість потоку бурового розчину спостерігається безпосередньо в зоні робочих лопатей імпелера – 1 м/с . Але об'єм цієї зони обмежений розмірами самого імпелера. Обширна зона підвищеної турбулентності зі швидкостями потоку пульпи $0,4\text{-}0,7 \text{ м/с}$ спостерігається між імпелером і дном резервуара. Але вона не досягає стінок резервуара. Безпосередньо біля стінок резервуара швидкість пульпи відносно мала – від $0,077 \text{ м/с}$ до 0 , що свідчить про підвищену

імовірність накопичення в цій зоні осадів твердої фази бурового розчину.

На рис. 5.46 показано поле швидкостей потоків пульпи при перемішуванні бурового розчину в змішувачі ПБР-7,5 і застосуванні імпелера-прототипа.



Дослід 2. Об'єкт досліджень – перший варіант модернізації. Напівзакритий турбінний імпелер з заокругленими лопатями розміщеними дугою до основи (рис. 5.47., 5.48.).

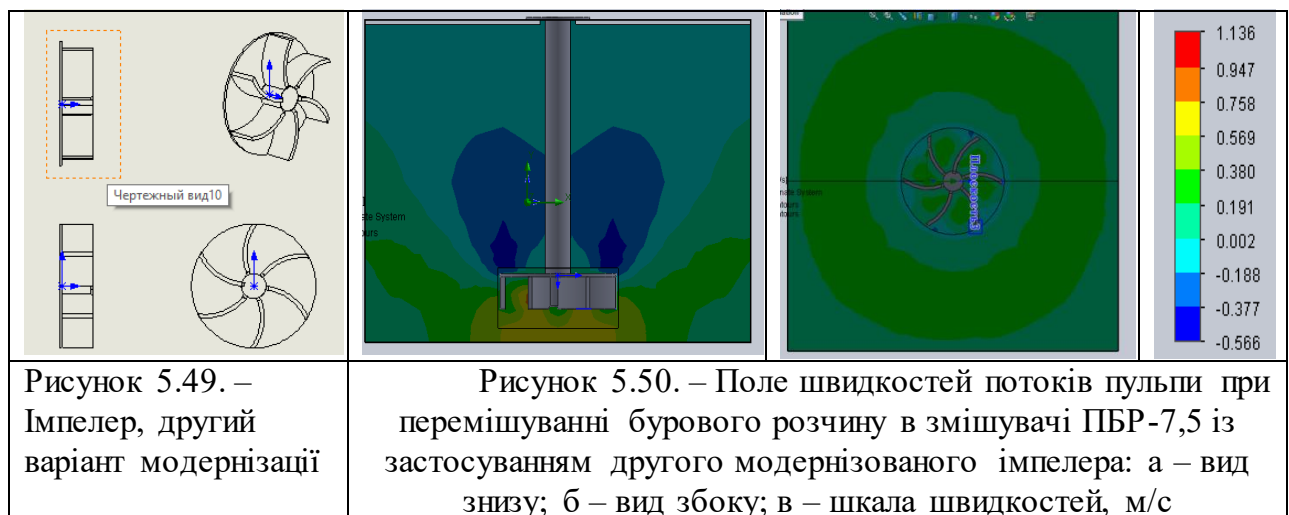


Найбільша швидкість потоку бурового розчину спостерігається в робочій зоні імпелера і під ним –0,563 м/с до 0,736 м/с. Обширна зона підвищеної турбулентності зі швидкостями потоку пульпи 0,396-0,563 м/с спостерігається між імпелером і стінками резервуара, яка розширяється до стінок. При цьому швидкість падає в кутах резервуару до 0,044 м/с, що створює можливість осадів твердої фази бурового розчину в цій області.

Ці показники значно кращі ніж у прототипу, хоча не є оптимальними. На рисунку 5.48. показано поле швидкостей потоків пульпи при перемішуванні бурового розчину в змішувачі ПБР-7,5 і застосуванні першого модернізованого імпелера.

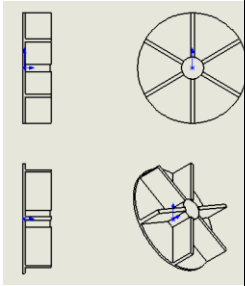
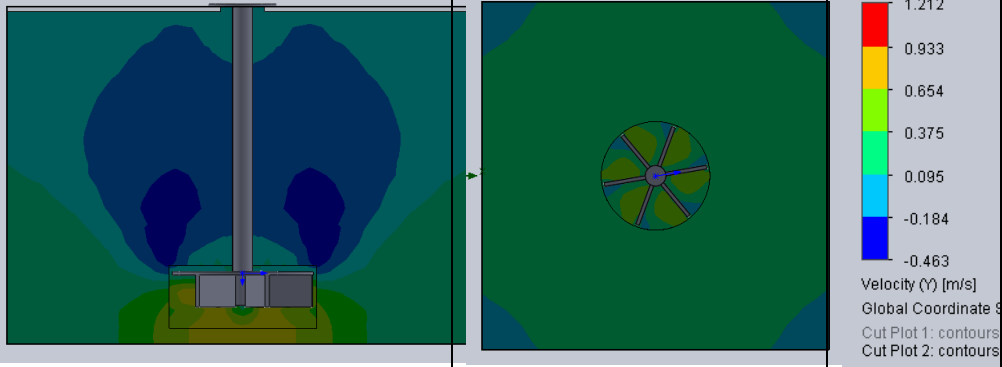
Дослід 3. Другий варіант модернізації. Напівзакритий турбінний імпелер з прямими лопатями розміщеними дугою до основи (рис. 5.49., 5.50.).

Найбільша швидкість потоку бурового розчину спостерігається робочій зоні імпелера і під ним – 0,569 м/с до 0,758 м/с. Значно більша зона турбулентності спостерігається, ніж у перших дослідях. В цій зоні швидкості потоку пульпи досягають 0,380-0,569 м/с. Швидкість біля стінок резервуару становить від 0,191 м/с до 0,380 м/с, при цьому в кутах зменшиться можливість осаду. Одержані модельні дані показують, що заокруглення на вершині лопаті турбіни зменшує швидкість, що призводить до збільшення осадження крупних класів твердої фази пульпи.



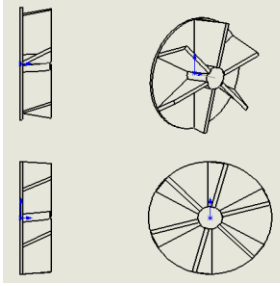
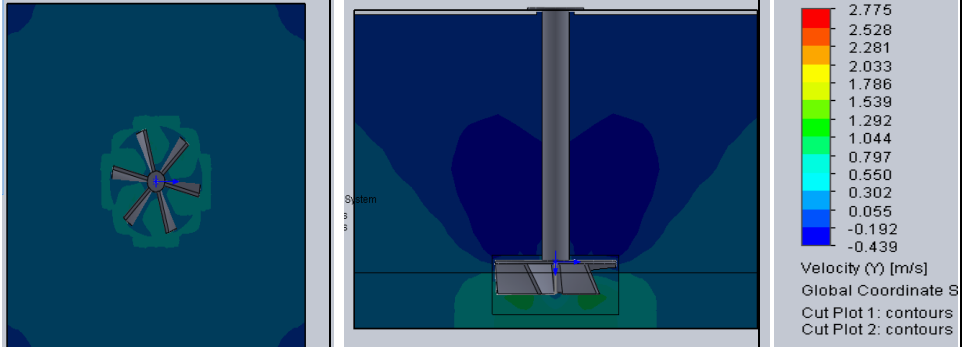
Дослід 4. Третій варіант модернізації. Напівзакрита турбіна з прямими лопатями розміщеними перпендикулярно до осі вала (рис. 5.51., 5.52.).

Найбільша швидкість потоку пульпи варіює від 0,654 м/с до 0,933 м/с, вона спостерігається в робочій зоні імпелера, і довкола неї на відстані від центру 1,6 м, і під ними. Хоча поле турбулентності значно більше ніж в попередніх дослідях і швидкість потоків пульпи в робочій зоні мішалки досягає 0,375 м/с, з'являються застійні зони в кутах резервуара.

	
Рисунок 5.51. – Імпелер, третій варіант модернізації	Рисунок 5.52. – Поле швидкостей потоків пульпи при перемішуванні бурового розчину в змішувачі ПБР-7,5 із застосуванням третього модернізованого імпелера: а – вид знизу; б – вид збоку; в – шкала швидкостей, м/с

Дослід 5. Четвертий варіант модернізації. Напівзакрита турбіна з прямими лопатями вершини яких відносно одної розташовані під кутом 15° . (рис. 5.53., 5.54.).

Найбільша швидкість потоку в робочій зоні імпелера і довкола неї 0,550 м/с до 0,797 м/с. Спостерігається велика зона підвищеної турбулентності, яка простягається до стінок резервуару. Швидкість в ній становить до 0,302 м/с, але з'являються застійні зони в кутах резервуару, хоча і менші ніж в досліді 4.

	
Рисунок 5.53. – Імпелер, четвертий варіант модернізації	Рисунок 5.54. – Поле швидкостей потоків пульпи при перемішуванні бурового розчину в змішувачі ПБР-7,5 із застосуванням четвертого модернізованого імпелера: а – вид знизу; б – вид збоку; в – шкала швидкостей, м/с

Аналіз одержаних результатів та раціональних конструктивних та експлуатаційних рішень.

Для аналізу одержаних результатів розрахуємо критичну швидкість бурового розчину, при якій втрачається його седиментаційна стійкість і зерна твердої фази починають осідати на дно резервуара. Ця швидкість є важливим критеріальним параметром мішалок, так як саме вона детермінує утворення зон можливого зашламування. У нашому випадку, так як крупність твердої фази бурового розчину після його очистки на вібростатах, у циклонах і осадовій центрифугі складає не більше перших десятків мкм, критична швидкість пульпи дорівнює швидкості седиментації часток у дисперсійному середовищі⁴:

$$V_c = \frac{2r^2}{9\delta}(\rho - \rho_o)g \quad (5.25)$$

Підставляючи відповідні значення маємо:

$$V_c = \frac{2 \cdot (40 \cdot 10^{-6})^2}{9 \cdot 30 \cdot 10^{-4}} \cdot (2600 - 1250) \cdot 9,8 = 1,568 \cdot 10^{-3} \frac{м}{с}.$$

Після одержання і аналізу результатів було проведено порівняння прототипу і можливих модернізацій (табл. 5.4.).

Таблиця 5.4.. Порівняльна характеристика досліджених варіантів конструкції мішалки

Варіант конструкції	Швидкість в робочій зоні імелера, м/с	Швидкість в пристінній зоні, м/с	Імовірність виникнення «мертвих зон»	Критична швидкість осадження твердої фази, м/с
Базовий	0,502- 0,749	0,070- 0	Висока	$1,568 \cdot 10^{-3} \frac{м}{с}$
Перший варіант модернізації	0,563- 0,736	0,217- 0	Мала	
Друга модернізація	0,569- 0,758	0,191- 0,380	Мінімальна	
Третя модернізація	0,468- 0,654	0,095- 0	Середня	
Четверта модернізація	0,550- 0,797	0,055- 0	Висока	

⁴ Ходаков Г.С., Юдкин Ю.П., Седиментационный анализ высокодисперсных систем, М., 1981. – 192 с.

Базова конструкція і всі варіанти модернізації, як це витікає зі значень швидкості пульпи в робочій зоні імелера, що лежить в межах 0,468-797 м/с, забезпечують ефективне перемішування бурового розчину у робочій зоні.

Швидкість пульпи в пристінній зоні для базової конструкції і четвертого варіанта модернізації найменша і складає, відповідно, 0,07- 0 м/с і 0,055- 0 м/с. В результаті, імовірність виникнення в пристінній зоні і особливо в кутках резервуара «мертвих зон» велика. Другий варіант модернізації забезпечує суттєво більшу ніж критична швидкість пульпи по всьому робочому простору мішалки, зокрема, у пристінних зонах - 0,191- 0,380 м/с. Перший і третій варіант модернізації, хоч і кращі від базового, але не виключають випадіння твердої фази бурового розчину в кутках і пристінній зоні резервуара (швидкість пульпи в цих зонах відповідно по варіантах: 0,217- 0 м/с і 0,095-0 м/с).

Висновки по моделюванню імелерного перемішувача

Виконані дослідження методом комп'ютерного моделювання, а саме SolidWorks з модулем FlowSimulation, показали, що найкращим є другий варіант модернізації одноімелерної мішалки з прямокутним профілем резервуара, - турбіна з прямими лопатями розміщеними дугою до основи, - оскільки при її експлуатації відсутні застійні зони. Водночас, цей варіант забезпечує інтенсивне перемішування бурового розчину робочій зоні при швидкостях 0,569- 0,758 м/с.

Навчальне видання

МОДЕЛЮВАННЯ ІМПЕЛЕРНОГО ПЕРЕМІШУВАЧА СИСТЕМИ ПРИГОТУВАННЯ БУРОВОГО РОЗЧИНУ

**Методичні вказівки
до практичних занять з дисципліни
«Моделювання технологічних процесів в нафтогазовій галузі»
для студентів спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та технології»**

Укладач
БІЛЕЦЬКИЙ Володимир Стефанович

Відповідальний за випуск проф. Фик І.М.
Роботу рекомендував до друку проф. Циганков О.В.
В авторській редакції

План 2021 р., поз. 320

Підп. до друку 07.10.2021 р.
Гарнітура Times New Roman.

Видавничий центр НТУ «ХП».
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.
61002, Харків, вул. Кирпичова, 2
