

# Наука — виробництву

---

---

УДК 622.244.43

DOI: 10.31471/1993-9973-2020-2(75)-62-68

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПРОМИВАННЯ СВЕРДЛОВИН

*І. І. Чудик, І. Ф. Дудич\*, В. В. Токарук*

*ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 727137,  
e-mail: dudychivan@gmail.com*

*Проведено дослідження впливу техніко-технологічних факторів на ефективність промивання свердловини в експериментальних умовах. Виконано аналіз існуючих експериментальних установок за допомогою яких можна оцінити вплив техніко-технологічних факторів на процес промивання свердловин. З використанням критеріїв подібності, що отримані у відповідності до основних положень теорії розмірностей, спроектовано лабораторну установку для моделювання процесу промивання свердловин. За рахунок компактних габаритних розмірів та простоти проведення дослідів розроблена установка дозволяє моделювати і досліджувати вплив багатьох факторів на процес промивання свердловин а саме: ексцентричне розміщення бурильної колони; тип промивальної рідини (реологічні властивості); розмір фракції гірської породи; частота пульсацій для створення пульсуючого характеру руху рідини; обертання бурильної колони; повздовжній рух бурильної колони. На основі попередніх досліджень визначено основні фактори і діапазон їх зміни на ефективність транспортування шламу. Використовуючи план «Тагути» побудовано план експерименту для дослідження значимості факторів на якість винесення шламу зі стовбура свердловини. Обробка даних, отриманих в процесі експериментальних досліджень, виконувалась у програмному забезпеченні «Mathcad Prime». Встановлено, що за допомогою варіації факторів можна досягнути покращення якості промивання свердловин, за рахунок зменшення площі осідання шламу в стовбурі свердловини. Найбільш позитивний вплив на винесення шламу має витрата промивальної рідини, а найменший розмір фракції гірської породи і повздовжній рух бурильної колони. Вагомий вплив на якість винесення шламу здійснює пульсація промивальної рідини, що є істотним і цікавим фактором з точки зору подальших наукових досліджень.*

Ключові слова: критерії подібності, гірська порода, шлам, пульсуючий потік, обертання, повздовжні коливання, свердловина.

*Проведено исследование влияния технико-технологических факторов на эффективность промывки скважины в экспериментальных условиях. Выполнен анализ существующих экспериментальных установок с помощью которых можно оценить влияние технико-технологических факторов на процесс промывки скважин. С использованием критериев подобия, полученные в соответствии с основных положений теории размерностей, спроектирована лабораторная установка для моделирования процесса промывки скважин. За счет компактных габаритных размеров и простоты проведения опытов разработанная установка позволяет моделировать и исследовать влияние многих факторов на процесс промывки скважин а именно: эксцентричное размещение бурильной колонны; тип промывочной жидкости (реологические свойства); размер фракции горной породы; частота пульсаций для создания пульсирующего характера движения жидкости; вращение бурильной колонны; продольное движение бурильной колонны. На основе предыдущих исследований определены основные факторы и диапазон их изменения на эффективность транспортирования шлама. Используя план «Тагути» построен план эксперимента для исследования значимости факторов на качество выноса шлама из ствола скважины. Обработка данных, полученных в процессе экспериментальных исследований выполнялась в программном обеспечении «Mathcad Prime». Установлено, что с помощью вариации факторов можно достичь улучшения качества промывки скважин, за счет уменьшения площади оседания шлама в стволе скважины. Наиболее положительное влияние на вынос шлама имеет расход промывочной жидкости, а наименьший размер фракции горной породы и продольное движение*

бурильної колонни. Весомое влияние на качество выноса шлама осуществляет пульсация промывочной жидкости, что является существенным и интересным фактором с точки зрения дальнейших научных исследований.

Ключевые слова: критерии сходства, горная порода, шлам, пульсирующий поток, вращение, продольные колебания, скважина.

*The study of the influence of technical and technological factors on the efficiency of well flushing was carried out under experimental conditions. The analysis of existing experimental installations is performed with the help of which it is possible to assess the influence of technical and technological factors on the process of well flushing. The laboratory facility for modeling the well flushing process was designed using similarity criteria obtained in accordance with the basic provisions of the theory of dimensions. The developed installation allows you to model and study the influence of many factors on the well flushing process due to its compact overall dimensions and ease of conducting experiments, namely: the eccentric placement of the drill string; the type of flushing fluid (rheological properties); the size of the rock fraction; the frequency of pulsations to create a pulsating character of the fluid movement; rotation of the drill string; longitudinal movement of the drill string. The main factors of influence and the range of their changes on the efficiency of sludge transportation are determined on the basis of previous studies. An experiment plan is constructed to study the significance of factors on the quality of sludge removal from the well bore using the «Taguchi» plan. Data processing was performed in the software «Mathcad Prime». Variations in factors lead to an improvement in the quality of well flushing, by reducing the area of sludge settling in the well-bore. The flow rate of the washing liquid has the most positive effect on the removal of sludge. The size of the rock fraction and the longitudinal movement of the drill string has the least impact. Pulsation of the washing liquid has a significant impact on the quality of sludge removal, which is a significant and interesting factor from the point of view of further scientific research.*

Keywords: similarity criteria, rock, sludge, pulsating flow, rotation, longitudinal vibrations, well.

## Вступ

Одним із основних процесів спорудження свердловини є її промивання, яке забезпечує ефективне поглиблення вибою та винесення шламу на денну поверхню. Особливого значення промивання набуває при бурінні похило-скерованих і горизонтальних свердловин.

За рахунок значно більшої кількості технологічних обмежень і умов використання, процес промивання похило-скерованих і горизонтальних свердловин потребує постійного вдосконалення і коректування. А це вимагає розвитку науково-практичного забезпечення для моделювання та дослідження впливу гірничо-геологічних та техніко-технологічних параметрів на реалізацію процесу. Це є актуальною задачею та потребує вирішення.

## Аналіз досліджень і публікацій

Процесу промивання похило-скерованих та горизонтальних свердловин присвячено багато досліджень [1-4]. В більшості випадків наукові роботи сфокусовані на дослідженнях впливу на промивання свердловини певних одиничних складових процесу, що є недостатнім для його всебічного вивчення. Здебільшого це обумовлюється складністю вирішення багатофакторної техніко-технологічної задачі і потребує використання експериментальних досліджень, які дозволяють отримати очікуваний результат відповідної точності в лабораторних умовах на експериментальних установках та дослідних стендах.

Існуючі експериментальні установки для визначення впливу техніко-технологічних факторів на ефективність промивання свердловини та винесення шламу на денну поверхню [3, 4, 7] певною мірою враховують: ексцентричне розташування бурильної колони в стовбурі свердловини; реологічні властивості промивальної рідини; розміри частинок шламу; продуктивність бурового насоса; обертання бурильної колони; пульсації промивальної рідини; кут нахилу осі свердловини і вивчають кількісні і якісні показники транспортування вибуреної породи.

Враховуючи багатофакторність задачі спорудження похило-скерованих і горизонтальних свердловин, необхідною умовою ефективного моделювання процесу їх промивання є врахування максимально можливої кількості факторів на основі побудови системи критеріїв подібності та розроблення за ними експериментальної установки.

Висвітлення основного матеріалу дослідження. На основі положень теорії подібності і розмірностей [8] для моделювання процесу промивання свердловини в лабораторних умовах пропонується використати основні параметри даної фізичної системи, де  $L$  – довжина каналу перетікання промивальної рідини, який умовно можна прирівняти до довжини бурильної колони БК,  $[L]=M$ ;  $q$  – вага одиниці довжини БК,  $[q]=H \cdot M^{-1}$ ;  $EI$  – жорсткість на згин БК,  $[EI]=H \cdot M^2$ ;  $\omega$  – кутова швидкість обертання БК,  $[\omega]=T^{-1}$ ;  $v_{кп}$  – швидкість руху промивальної

рідини в кільцевому просторі,  $[v_{kn}] = M T^{-1}$ ;  $g$  – прискорення вільного падіння,  $[g] = M \cdot T^{-2}$ .

Основними одиницями вимірювання приймається: сила –  $[H]$ ; довжина –  $[M]$ ; час –  $[T]$ .

З використанням розмірностей відповідних параметрів було отримано рівняння, описані в роботі [8]:

$$\left. \begin{aligned} K_1 &= (EI)^{\alpha_1} (g)^{\alpha_2} (q)^{\alpha_3} L \\ K_2 &= (EI)^{\beta_1} (g)^{\beta_2} (q)^{\beta_3} \omega \\ K_3 &= (EI)^{\xi_1} (g)^{\xi_2} (q)^{\xi_3} V_{kn} \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

де  $\alpha_i, \beta_i, \xi_i$  – невідомі коефіцієнти.

У разі використання незалежних параметрів із розмірностями  $[H]$ ,  $[M]$ ,  $[T]$  система рівнянь (1) набуває вигляду:

$$\left. \begin{aligned} K_1 &= (HM^2)^{\alpha_1} (MT^{-2})^{\alpha_2} (HM^{-1})^{\alpha_3} M = 1 \\ K_2 &= (HM^2)^{\beta_1} (MT^{-2})^{\beta_2} (HM^{-1})^{\beta_3} T^{-1} = 1 \\ K_3 &= (HM^2)^{\xi_1} (MT^{-2})^{\xi_2} (HM^{-1})^{\xi_3} MT^{-1} = 1 \end{aligned} \right\}. \quad (2)$$

При зведенні однотипних одиниць вимірювання отримано:

$$\left. \begin{aligned} (H)^{\alpha_1+\alpha_3} (M)^{2\alpha_1+\alpha_2-\alpha_3+1} (T)^{-2\alpha_2} &= 1 \\ (H)^{\beta_1+\beta_3} (M)^{2\beta_1+\beta_2-\beta_3} (T)^{-2\beta_2-1} &= 1 \\ (H)^{\xi_1+\xi_3} (M)^{2\xi_1+\xi_2-\xi_3+1} (T)^{-2\xi_2-1} &= 1 \end{aligned} \right\}. \quad (3)$$

Зіставлено однорідні показники степенів у відповідності до невідомих величин  $\alpha_i, \beta_i, \xi_i$  і отримано таку систему рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} 2\alpha_1 + \alpha_2 - \alpha_3 + 1 &= 0 \\ \alpha_1 + \alpha_3 &= 0 \\ -2\alpha_2 &= 0 \\ \beta_1 + \beta_3 &= 0 \\ 2\beta_1 + \beta_2 - \beta_3 &= 0 \\ -2\beta_2 - 1 &= 0 \\ \xi_1 + \xi_3 &= 0 \\ 2\xi_1 + \xi_2 - \xi_3 + 1 &= 0 \\ -2\xi_2 - 1 &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (4)$$

У результаті розв'язку системи рівнянь (4) визначено:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_1 &= -1/3, \alpha_2 = 0, \alpha_3 = 1/3 \\ \beta_1 &= 1/6, \beta_2 = -1/2, \beta_3 = -1/6 \\ \xi_1 &= -1/6, \xi_2 = -1/2, \xi_3 = 1/6 \end{aligned} \right\}. \quad (5)$$

Підставляючи величини  $\alpha_i, \beta_i, \xi_i$  в (1), отримано:

$$\left. \begin{aligned} K_1 &= \sqrt[3]{q/EI} L \\ K_2 &= \sqrt[6]{EI/q} \frac{\omega}{\sqrt{g}} \\ K_3 &= \sqrt[6]{q/EI} \frac{V_{kn}}{\sqrt{g}} \end{aligned} \right\}. \quad (6)$$

Наведені критерії подібності  $K_i$  пов'язані однієї величиною – безрозмірною одиницею довжини  $\mu$  [9, 10]:

$$\mu = \sqrt[3]{EI/q}. \quad (7)$$

Після зіставлення залежностей (6) та (7) критерії подібності  $K_i$  набувають вигляду:

$$\left. \begin{aligned} K_1 &= L/\mu \\ K_2 &= \omega \sqrt{\mu/g} \\ K_3 &= V_{kn} / \sqrt{\mu g} \end{aligned} \right\}. \quad (8)$$

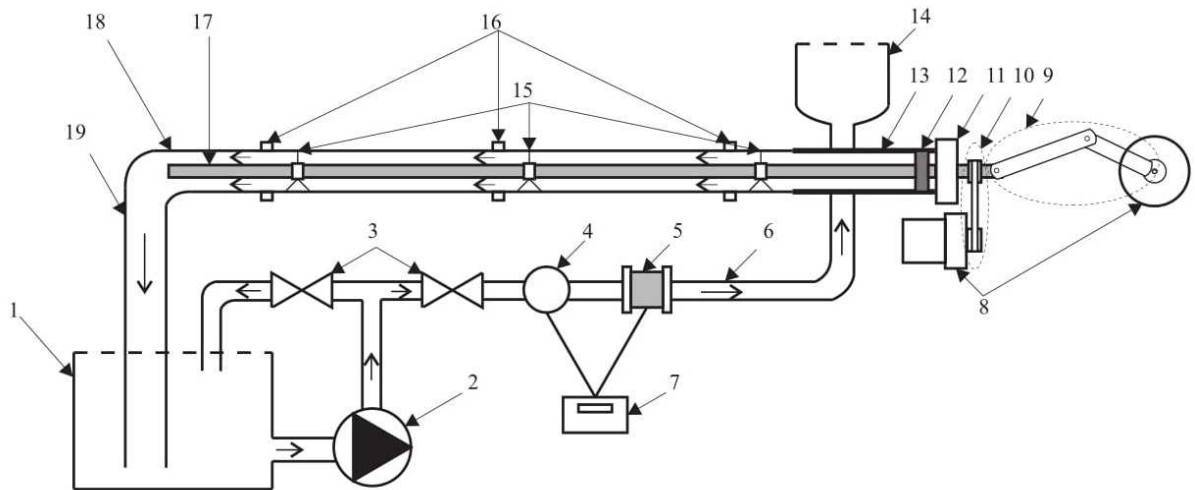
Використовуючи необхідні та достатні умови подібності двох явищ або процесів [11], позначивши параметри моделі індексом «м» і природи – «н», отримаємо такі умови подібності:

$$\left. \begin{aligned} L_n / \mu_n &= L_m / \mu_m \\ \omega_n^2 \mu_n &= \omega_m^2 \mu_m \\ V_{kn}^2 / \mu_n &= V_{km}^2 / \mu_m \end{aligned} \right\}. \quad (9)$$

Згідно системи (9) для моделювання бурильних труб діаметром 101,6 мм необхідним є застосування труби діаметром 13 мм, для діаметра свердловини 181 мм (діаметр долота 165,1 мм і лінійний коефіцієнт кавернозності 1,1) труби діаметром 23,2 мм.

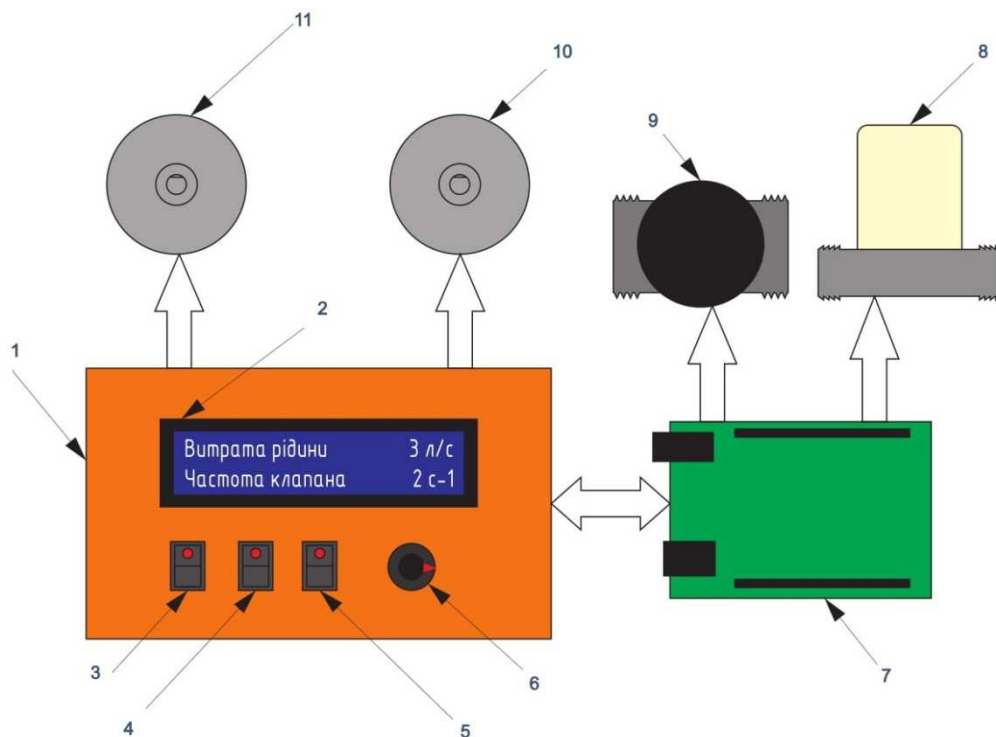
Для моделювання бурильних труб згідно (9) застосовується алюмінієвий стрижень, на який одягнуто гумовий шланг зовнішнім діаметром 13 мм. Для моделювання стовбура свердловини в основній частині застосовується скляна трубка із внутрішнім діаметром 23,2 мм і товщиною стінки 1,4 мм.

З робочої ємкості за допомогою відцентрового насоса промивальна рідина рухається нагнітальною лінією до кільцевого простору основної частини установки. Тут розташовані регульовальні крани і давач витрати промивальної рідини, а також електромагнітний клапан. Електромагнітний клапан створює пульсуючий потік промивальної рідини. Разом із давачем витрати рідини він підключений до блоку керування, за допомогою якого здійснюється керування установкою і на екрані якого виводяться параметри роботи клапана. До моделі бурильної колони під'єднано два двигуни-редуктори.



1 – резервуар для рідини; 2 – насос; 3 – крани для регулювання витрати промивальної рідини; 4 – давач витрати промивальної рідини; 5 – електромагнітний клапан; 6 – нагнітальна лінія; 7 – блок керування; 8 – мотор-редуктор; 9 – кривошипно-шатунний механізм; 10 – пасова передача; 11 – сальник; 12 – підшипник; 13 – пластикова труба; 14 – резервуар для рівноваги рівня рідини; 15 – центратори; 16 – давачі відстані; 17 – алюмінієвий стрижень з гумовим шлангом; 18 – скляна трубка; 19 – викидна лінія

**Рисунок 1 – Схема експериментальної установки для моделювання процесу промивання свердловин**



1 – блок керування; 2 – екран; 3 – тумблер вкл/викл. двигуна обертання бурильної колони; 4 – тумблер вкл/викл. двигуна повздовжнього руху вала; 5 – тумблер вкл/викл. клапана пульсації; 6 – енкодер для регулювання частоти пульсації; 7 – керуюча плата; 8 – електромагнітний клапан; 9 – давач витрати промивальної рідини; 10 – двигун для повздовжнього руху бурильної колони; 11 – двигун для обертання бурильної колони

**Рисунок 2 – Схема керування експериментальною установкою**

Таблиця 1 – План експерименту для оцінки впливу факторів на процес винесення гірської породи

Дослід	Фактори і діапазон їх зміни						
	витрата промивальної рідини, л/с.	ексцентриситет бурильної колони, мм	тип промивальної рідини	розмір фракції гірської породи, мм	частота пульсацій, Гц	обертання бурильної колони	повздовжнє переміщення бурильної колони
1	0,094	0,3	вода	0,1	0	відсутнє	відсутнє
2	0,17	0,3	вода + 1,2% Duo-vis	0,1	0	постійне	постійне
3	0,17	0,3	вода	0,8	16	постійне	відсутнє
4	0,094	0,3	вода + 1,2% Duo-vis	0,8	16	відсутнє	постійне
5	0,17	5	вода + 1,2% Duo-vis	0,8	0	відсутнє	відсутнє
6	0,094	5	вода	0,8	0	постійне	постійне
7	0,094	5	вода + 1,2% Duo-vis	0,1	16	постійне	відсутнє
8	0,17	5	вода	0,1	16	відсутнє	постійне

Один з них за допомогою пасової передачі здійснює обертання вала навколо своєї осі, інший за допомогою кривошипно-шатунного механізму здійснює рух вала вздовж осі. На одному з кінців модельованої бурильної труби встановлено сальник для герметизації кільцевого простору і підшипник для забезпечення якісного обертання вала. Також до цієї труби під'єднано резервуар для подачі гірської породи з витратою, що моделює проходку 1 м/год. Для центрування і задання певного ексцентриситету на валу розташовані центратори. Давачі відстані, за допомогою яких фіксується висота осідання гірської породи, розташовані на скляній трубці. Промивальна рідина після скляної трубки по викидній лінії потрапляє в робочу ємність, після чого відбувається повторний цикл.

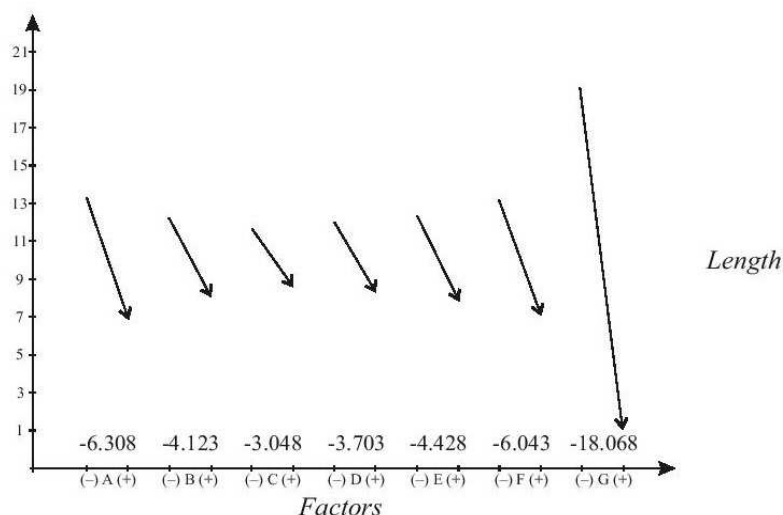
Керування установкою здійснюється за допомогою блоку керування, на передній панелі якого встановлено кнопки для ввімкнення двигунів обертання бурильної колони навколо своєї осі, її руху вздовж осі, та подачі струму на електромагнітний клапан для створення пульсацій розчину. Також на панелі знаходиться енкодер для зміни частоти роботи електромагнітного клапана і екран, на який виводяться основні параметри роботи установки. Основне управління процесом відбувається через плату керування, до якої під'єднано кнопку для подачі струму на електромагнітний клапан, енкодер для зміни частоти закриття електромагнітного клапана, рідкокристалічний екран і давач витрати рідини.

Для оцінки впливу факторів на процес переміщення гірської породи промивальною рідиною по кільцевому простору на експериментальній установці в залежності від кількості цих факторів і діапазону їх зміни можуть бути використані різні плани експериментів [5, 6]. Це плани для моделей першого порядку – ПФЕ (повний факторний експеримент) і ДФЕ (дробовий факторний експеримент), для моделей другого і вищих порядків – ЦКП (центральні композиційні плани), за методом латинських квадратів та інші.

У ході проведення досліджень нами розглядався вплив наступних факторів:

- витрата промивальної рідини;
- ексцентричне розміщення бурильної колони;
- тип промивальної рідини (реологічні властивості);
- розмір фракції гірської породи;
- частота пульсацій для створення пульсуючого характеру руху рідини;
- обертання бурильної колони;
- повздовжній рух бурильної колони.

Для оцінки впливу цих факторів діапазон їх зміни було прийнято на двох рівнях. Після проведення тестових досліджень було прийнято такі значення діапазону зміни факторів: витрата промивальної рідини – 0,094 л/с. і 0,17л/с; ексцентриситет бурильної колони – 0,0003 м і 0,005 м; в якості промивальної рідини використовувати воду та воду із додаванням біополімера Duo-vis з масовою концентрацією 1,2%; розмір фракції гірської породи – 0,1 мм і 0,8 мм; час-



Фактори: *A* – ексцентриситет; *B* – пульсації; *C* – розмір фракції шламу; *D* – повздовжній рух бурильної колони – відсутнє і постійне; *E* – тип промивальної рідини; *F* – обертання БК; *G* – витрата промивальної рідини

**Рисунок 3 – Залежність впливу факторів на значення площі осідання гірської породи**

тота пульсацій – 0 Гц і 16 Гц; обертання та повздовжній рух бурильної колони – відсутнє і постійне.

Згідно цих даних для побудови плану експерименту було використано план «Тагуті» для 7 факторів із 2 рівнями. Результати побудованого плану експерименту наведено в таблиці 1.

Під час проведення лабораторних досліджень за допомогою давачів відстані, значення висоти осідання гірської породи записувались на керуючу плату. Після обробки результатів отримано значення показника якості винесення шламу у вигляді площі осідання гірської породи. Результати проведених досліджень наведено в таблиці 2.

**Таблиця 2 – Результати експерименту для оцінки впливу факторів на процес винесення гірської породи**

Дослід	Площа осідання гірської породи, мм <sup>2</sup>
1	3,3
2	0,076
3	0,172
4	1,77
5	0,115
6	1,39
7	1,21
8	0,08

Для оцінки значущості впливу досліджуваних факторів на якість винесення гірської породи було здійснено обробку результатів у програмному забезпеченні «Mathcad Prime». За

отриманими результатами побудовано графічну залежність, що зображена на рисунку 3.

Результати цієї графічної залежності відображають ступінь значущості впливу кожного фактору на якість промивання свердловин. Відповідно до рисунка, що фактори позитивно впливають на транспортування шламу за рахунок зменшення площі осідання шламу. Найбільший позитивний вплив на неї здійснює витрата промивальної рідини, а найменший - розмір фракції гірської породи.

Кількість дослідів і отримані результати є достатніми для оцінки значущості впливу факторів, однак для детальнішого вивчення їх впливу з врахуванням більш широкого діапазону зміни факторів рекомендується застосовувати інші плани експерименту, що планується розглянути в подальшій роботі.

**Висновки**

Розроблено критерії подібності процесу промивання свердловин, відповідно до яких розроблено конструкцію експериментальної установки для визначення впливу факторів на якість транспортування шламу.

Згідно з попередніми дослідженнями визначено основні фактори і діапазони їх зміни для побудови плану експерименту. Отримано графічні залежності впливу технологічних факторів на процес транспортування гірської породи.

Встановлено вплив факторів на якість транспортування шламу. Виділено фактори, котрі забезпечують найбільш вагомий позитивний вплив на зменшення площі осідання шламу в кільцевому просторі.

1. Давиденко А. Н., Игнатов А. А., Полищук П. П. Транспортировка продуктов разрушения при бурении скважин: монография. Днепропетровск, 2016. 116 с.

2. Крылов В. И., Крещул В. В. Гидродинамические особенности бурения горизонтальных скважин. *Бурение скважин*. 2000. №6. С. 18-21.

3. Тунгусов С. А. Повышение эффективности промывки скважин за счет использования пульсирующего потока: дис.: канд. техн. наук. Москва, 2009.

4. Хабибуллин И. А. Совершенствование процессов транспортирования выбуренной породы при проходке горизонтальных скважин: дис.: канд. техн. наук. Уфа, 2008.

5. Мислюк М. А., Салижин Ю. М. Система выбору оптимальных рецептур обработки буровых розчинів. *Нафтова і газова промисловість*. 2007. № 5. С. 25 – 28.

6. Мысльюк М. А., Васильченко А. А., Салыжин Ю. М., Кустурова Е. В. О выборе рецептуры обработки бурового раствора с учетом термостойкости. *Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море*. 2006. № 8. С. 47 – 52.

7. Акбулатов Т. О., Хабибуллин И. А. Моделирование лабораторной установки по исследованию процессов транспортирования выбуренной породы при проходке горизонтальных участков скважин. *Территория нефтегаз*. 2006. №12. С. 18-21.

8. Чудик І. І. Розвиток наукових основ буріння скерованих свердловин з мінімальними витратами енергії: дис.: док. техн. наук. Івано-Франківськ, 2011.

9. Измайлов Т. З., Мамедтагизаде А. М. Методика определения коэффициента трения и сил адгезии на приборе для исследования фрикционных свойств фильтрационных корок. *Известия ВУЗов. Нефть и газ*. 1979. № 2. С. 27–30.

10. Калинин А. Г., Никитин Б. А., Солodкий К. М., Султанов Б. З. Бурение наклонных и горизонтальных скважин. М: Недра, 1997. 651 с.

11. Мойсишин В. М. Про спіральний поздовжній згин рухомої бурильної колони в свердловині. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 1992. №2. С. 48–53.

1. Davidenko A. N., Ignatov A. A., Polischuk P. P. Transportirovka produktov razrusheniya pri burenii skvazhin: monografiya. Dnepropetrovsk, 2016. 116 p. [in Russian]

2. Kryilov V. I., Kretsul V. V. Gidrodinamicheskie osobennosti bureniya gorizontalnykh skvazhin. *Burenie skvazhin*. 2000. No6. P. 18-21. [in Russian]

3. Tungusov S. A. Povyishenie effektivnosti promyivki skvazhin za schet ispolzovaniya pulsiruyushego potoka: dis.: kand. tehn. nauk. Moskva, 2009. [in Russian]

4. Habibullin I. A. Sovershenstvovanie protsessov transportirovaniya vyiburenoy porodyi pri prohodke gorizontalnykh skvazhin: dis.: kand. tehn. nauk. Ufa, 2008. [in Russian]

5. Mysliuk M. A., Salyzhyn Yu. M. Systema vyboru optymalnykh retseptur obrobky burovyykh rozchyniv. *Naftova i hazova promyslovist*. 2007. No 5. P. 25 – 28. [in Ukrainian]

6. Myislyuk M. A., Vasilchenko A. A., Salyizhin Yu. M., Kusturova E. V. O vyibore retsepturyi obrabotki burovogo rastvora s uchetom termostoykosti. *Stroitelstvo neftyanykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more*. 2006. No 8. P. 47 – 52. [in Russian]

7. Akbulatov T. O., Habibullin I. A. Modelirovanie laboratornoy ustanovki po issledovaniyu protsessov transportirovaniya vyiburenoy porodyi pri prohodke gorizontalnykh uchastkov skvazhin. *Territoriya neftegaz*. 2006. No 12. P. 18-21. [in Russian]

8. Chudyk I. I. Rozvytok naukovykh osnov burinnia skerovanykh sverdlovyn z minimalnymy vytratamy enerhii: dys.: dok. tekhn. nauk. Ivano-Frankivsk, 2011. [in Ukrainian]

9. Izmaylov T. Z., Mamedtagizade A. M. Metodika opredeleniya koeffitsienta treniya i sil adgezii na pribore dlya issledovaniya friktsionnykh svoystv filtratsionnykh korok. *Izvestiya VUZov. Neft i gaz*. 1979. No 2. P. 27–30.

10. Kalinin A. G., Nikitin B. A., Solodkiy K. M., Sultanov B. Z. Burenie naklonnykh i gorizontalnykh skvazhin. M: Nedra, 1997. 651 p. [in Russian]

11. Moisyshyn V. M. Pro spiralnyi povzdovzhnii zghyn rukhomoi burylnoi kolony v sverdlovyni. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch*. 1992. No 2. P. 48–53. [in Ukrainian]