

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

Різничук Андрій Іванович



УДК 622.245

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗАПОБІГАННЯ РУЙНУВАННЮ
СТІНОК СКЕРОВАНИХ СВЕРДЛОВИН**

05.15.10 – Буріння свердловин

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук (доктора філософії)

Івано-Франківськ – 2020

Дисертацією є рукопис.
Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Чудик Ігор Іванович,
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу,
проректор з наукової роботи.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук,
старший науковий співробітник
Бондаренко Микола Олександрович,
Інститут надтвердих матеріалів ім. Бакуля,
завідувач лабораторії наукових основ розробки та
технологій виробництва бурового інструменту,
м. Київ

кандидат технічних наук
Ставичний Євген Михайлович,
ПАТ «Укрнафта»,
начальник управління буріння

Захист дисертації відбудеться 02 жовтня 2020 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.02 при Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

Автореферат розісланий 27 серпня 2020 р.

Учений секретар спеціалізованої
вченої ради, кандидат
технічних наук, доцент



І. М. Ковбасюк

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Обґрунтування вибору теми дослідження. Сьогоднішній стан нафтогазовидобутку в Україні характеризується виснаженням основних за запасами родовищ вуглеводнів, що перебувають на завершальній стадії розробки, а також географічним розташуванням поряд із урбанізованими територіями та рекреаційними зонами. Зазначена обставина у поєднанні із найскладнішими у Європі гірничо-геологічними умовами обумовлює необхідність спорудження свердловин складної просторової архітектури, зокрема похило-скерованих і горизонтальних.

Буріння свердловин такого типу, зазвичай, супроводжується низкою технологічних інцидентів, серед яких порушення цілісності стінок свердловини, каверно- і жолобоутворення, які, в свою чергу, призводять до ускладнень і аварій, а також суттєвих матеріальних збитків.

Забезпечення цілісності стінок свердловин у процесі їх буріння належить до першочергових завдань поліпшення якості і підвищення техніко-економічних показників їх спорудження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційну роботу виконано відповідно до:

1. Науково-дослідної тематики Д-18-12-П «Розроблення методів управління процесом спорудження скерованих свердловин в сланцевих і вугільних відкладах» (Державний реєстраційний номер №0112U004157).
2. Науково-дослідної тематики Д-7-15-П «Розроблення інноваційних технологій освоєння родовищ природних вуглеводів з низькопроникними колекторами» (Державний реєстраційний номер №0115U002284).

Мета і задачі дослідження. Мета дисертаційної роботи полягає в підвищенні стійкості стовбура скерованих свердловин при їх спорудженні в нестійких гірських породах.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Виконати аналіз досліджень та доступної виробничо-технологічної інформації щодо самовільного руйнування стінок свердловин у процесі їх спорудження, способів та методів запобігання зазначеного ускладнення.
2. Дослідити вплив техніко-технологічних і гірничо-геологічних чинників на стійкість стінок скерованої свердловини.
3. Дослідити явище контактної взаємодії бурильної колони зі стінками скерованої свердловини.
4. Експериментально дослідити стійкість стінок скерованої свердловини за термобаричних умов.
5. Розробити методи і засоби запобігання жолобоутворення у скерованих свердловинах.
6. Виконати промислову апробацію результатів наукових досліджень.

Об'єктом дослідження є процес взаємодії бурильної колони зі стінкою скерованої свердловини.

Предметом дослідження є методи та засоби оцінки напружено-деформованого стану гірської породи стінки скерованої свердловини.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань у дисертаційній роботі використовується комплексний підхід, який включає критичний аналіз та узагальнення науково-технічних досягнень в поєднанні з теоретичними та експериментальними дослідженнями.

Теоретичні дослідження базуються на використанні аналітичних методів теорії пружності, математичного та комп'ютерного моделювання.

Експериментальні дослідження включають реальні термобаричні умови формування та руйнування стінок свердловини.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в отриманні якісних підходів щодо оцінки впливу техніко-технологічних рішень на стійкість стінок скерованих свердловин в процесі їх буріння:

1. Досліджено взаємодію елементів бурильної колони зі стінками скерованої свердловини, напружено-деформований стан масиву гірської породи в пристовбурній зоні та можливості утворення на них виробок.

2. Удосконалено методику розрахунку взаємодії елементів бурильної колони із стінкою скерованої свердловини шляхом встановлення особливостей втискування її замків у гірську породу.

3. Вперше встановлено основні чинники виникнення і розроблено метод запобігання руйнуванню стінок скерованих свердловин складених гірськими породами, схильними до втрати стійкості під дією навантажень бурильною колоною.

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробленні методики визначення максимальних напружень, які виникають в гірській породі стовбура свердловини під дією сил притискання замка бурильної колони.

Розроблено та апроксимовано експрес-метод оцінки стійкості стінок свердловини за термобаричних умов.

Розроблено рецептуру закріплюючої технологічної рідини, спроектованої відповідно до особливостей спорудження свердловин нафтогазових родовищ України.

Практичне використання результатів дисертаційної роботи відображено у вигляді:

1. Керівного документу ТОВ «Ендейвер», м. Полтава, «Методика запобігання жолобоутворення на стінках скерованої свердловини замками бурильної колони».

2. Патенту України (№ 06981) «Пристрій для дослідження фільтрації бурових технологічних рідин через взірці гірських порід».

3. Технології встановлення паливно-бітумної ванни та компоновки низу бурильної колони для ліквідації жолоба у свердловині впроваджено у виробництво в ТОВ «Карпатська бурова компанія» для запобігання каверно- і жолобоутворенню.

Результати напрацювань також впроваджені в навчальний процес кафедри буріння свердловин Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Особистий внесок здобувача. Основні результати наукових праць, опублікованих у співавторстві, отримано дисертантом особисто. Зокрема, в роботах [1, 3, 8, 12, 13, 17, 19] обґрунтовано доцільність використання вуглеводневих рідин для зміцнення стінок свердловин у відкладеннях нестійких гірських порід, в тому числі і глинистих сланців; в роботах [4, 5, 6, 7, 10, 11, 15, 16, 18] встановлено залежності зміни сил притискання бурильного замка до стінки скерованої свердловини та залежності зміни максимальних напружень у гірській породі і глибини втискування елемента бурильного інструменту в неї від осьової сили розтягу, інтенсивності викривлення стовбура свердловини, конструктивних параметрів бурильної колони; в роботах [2, 9, 14] отримано залежність контактних напружень у гірській породі на поверхні стінки скерованої свердловини від часу взаємодії з нею замка бурильної колони, встановлено характер зміни напружень і фронту їх розповсюдження у масиві гірської породи стінки свердловини від дії на неї замка бурильної колони.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідалися і обговорювалися на: міжнародній науково-технічній конференції “Інноваційні технології буріння свердловин, видобування нафти і газу та підготовки фахівців для нафтогазової галузі”, (м. Івано-Франківськ, 3 – 6 жовтня 2012 р.); міжнародній науково-практичній конференції “Інновації і трансфер технологій: від ідеї до прибутку”, (м. Івано-Франківськ, 5 – 7 листопада 2012 р.); 9-й міжнародній науково-практичній інтернет-конференції “Сучасний соціокультурний простір 2012”, (20-22 вересня 2012 р.); 4-й міжнародній науково-практичній конференції “Інновації і трансфер технологій: від ідеї до прибутку”, (м. Дніпропетровськ, 24 – 26 квітня 2013 р.); всеукраїнському науково-практичному семінарі “Графічна освіта у ВНЗ: стан та перспективи”, (м. Івано-Франківськ, 19 – 20 вересня 2013 р.); Міжнародній науково-технічній конференції “Нафтогазова енергетика 2013”, (м. Івано-Франківськ, 7 – 11 жовтня 2013 р.); міжнародній науково-технічній конференції та виставці “Нафтогазова освіта та наука: стан та перспективи”, (м. Івано-Франківськ, 10 – 12 жовтня 2014 р.); міжнародній науково-технічній конференції та виставці «Нафтогазова енергетика – 2019», (м. Івано-Франківськ, 27 – 31 травня 2019); міжнародній науково-практичній конференції «Integración de las ciencias fundamentales y aplicadas en el paradigma de la sociedad post-industrial» (Барселона, ESP, 24.04.2020).

У повному обсязі результати досліджень доповідалися на наукових семінарах кафедри буріння свердловин Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Публікації. Результати дисертаційної роботи містяться у 19 публікаціях, з яких 7 статей у фахових виданнях України, 1 стаття у закордонному виданні, 10 публікацій у збірниках праць і тез всеукраїнських та міжнародних конференцій, отримано 1 патент України на корисну модель.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, що містить 126 найменувань, а також додатків. Робота містить 59 рисунків та 19 таблиць. Загальний обсяг дисертації становить 167 аркушів.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі розкрито сучасний стан проблеми та її значення для нафтової і газової галузі, обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання дослідження, відображено наукове та практичне значення отриманих результатів, зазначено особистий внесок здобувача та подано інформацію про апробацію результатів роботи.

У першому розділі проаналізовано промислові дані виробничого матеріалу щодо прихоплення бурильної колони у процесі спорудження свердловин на родовищах БУ «Укрбургаз» і встановлено, що причинами втрати рухомості бурильного інструменту здебільшого є порушення цілісності стінок свердловини внаслідок утворення жолобних виробок на стінках свердловини, а також осипання та обвалювання гірських порід. Незважаючи на дотримання режимно-технологічних параметрів та рекомендацій для зменшення жолобоутворень на стінках свердловини і запобігання осипанню та обвалюванню гірських порід, такі ускладнення виникали при поглибленні свердловини. Тому можна стверджувати, що відомі на сьогодні заходи не забезпечують безаварійного спорудження свердловин і проблема залишається актуальною.

Значний внесок у розробку заходів для боротьби з нестійкістю глинистих гірських порід, розкритих в процесі буріння, внесли Александров М. М., Ананьєв О. М., Ангелопуло О. К., Байдюк Б. В., Балаба В. І., Баранов В. С., Бейзик О. С., Вадецкий Ю. В., Войтенко В. С., Волобуєв А. І., Гноєвий А. Н., Городнов В. Д., Гулізаде М. П., Жигач К. Ф., Калінін А. Г., Кістер Е. Г., Кошелєв В. М., Кошелєв О. І., Кошелєв А. Т., Крилов В. І., Крисін Н. І., Круглицький М. М., Кудряшов Л. Б., Кунцяк Я. В., Леонов Є. Г., Мавлют М. Р., Мислюк М. А., Мухин Л. К., Новіков В. С., Овчаренко Ф. Д., Оринчак М. І., Пеньков А. І., Попов А. Н., Потапов А. Г., Рябоконт С. А., Сеїд-Рза М. К., Чудик І. І., Шаров В. С., Ясов В. Г., Chan A. W., Song F., Dickersin K., Gotzsche P. C., Jefferson T., Vickers A. та багато інших. Попри великий масив інформації зазначені ними науково-практичні методи та підходи щодо запобігання втрати стійкості стінок свердловини не дозволяють усунути вказану причину ускладнень, оскільки велику роль відіграє правильний підбір комплектації бурильної колони, а також розробка заходів для зниження інтенсивності каверно- і жолобоутворення при спуско-підймальних операціях.

Виходячи із зазначеного, сформульовано мету роботи та основні завдання досліджень.

Другий розділ присвячено дослідженню взаємодії бурильної колони із стінкою скерованої свердловини довільної кривизни для запобігання жолобоутворенню та визначенню чинників і механізму його локалізації.

Для моделювання формування жолобної виробки на стінці скерованої свердловини опорним торцем бурильного замка використано розрахункову схему, зображену на рисунку 1. Розглядається варіант втискування жорсткого циліндра у стінку свердловини, сформовану масивом гірської породи.

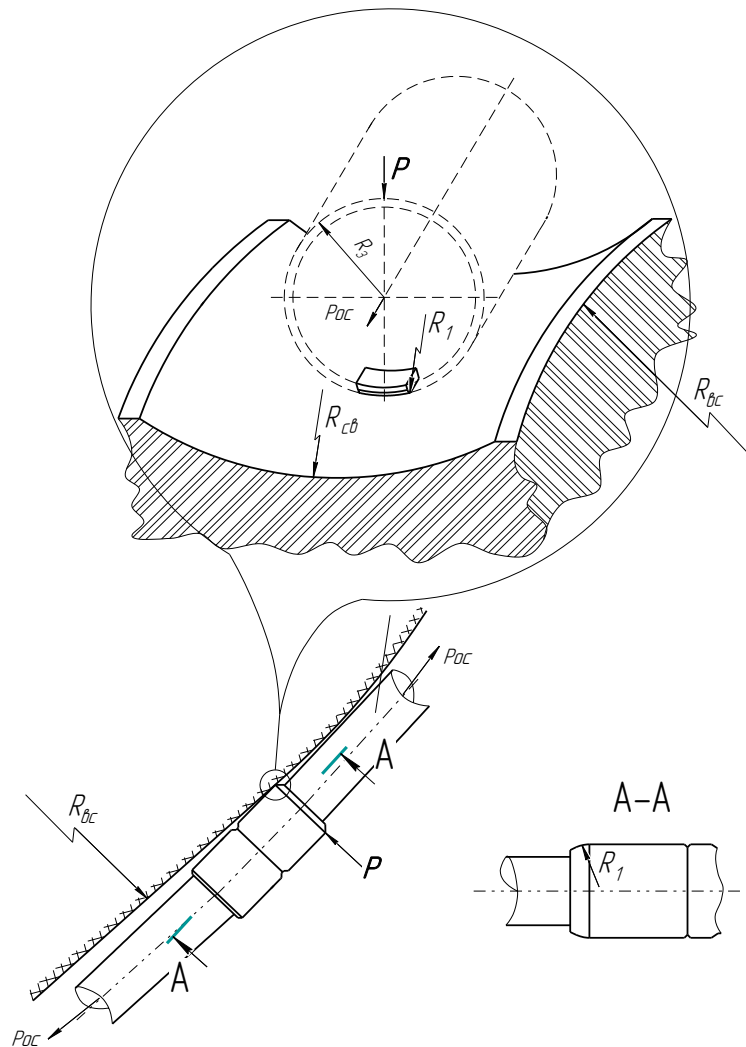


Рисунок 1 – Розрахункова схема визначення параметрів контакту бурильного замка зі стінкою свердловини в довільному інтервалі викривлення

Найбільші напруження, які виникають в центрі площини контактування бурильного замка зі стінкою скерованої свердловини визначаються з умови:

$$\sigma_{\max} = 0,365 \cdot n_p \cdot 3 \sqrt{P \cdot \frac{\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_{6c}} - \frac{1}{R_{cb}} \right)^2}{\left(\frac{1 - \mu_{cm}^2}{E_{cm}} + \frac{1 - \mu_{2n}^2}{E_{2n}} \right)^2}}, \quad (1)$$

де n_p – коефіцієнт, який визначають із відношення коефіцієнтів рівняння еліпса взаємодії A і B ; R_1 – радіус опорного торця бурильного замка; R_3 – радіус бурильного замка; R_{6c} – радіус викривлення стовбура скерованої свердловини; R_{cb} – номінальний радіус поперечного перерізу стовбура свердловини; μ_{cm} , μ_{2n} – коефіцієнти Пуассона для сталі та гірської породи відповідно; E_{cm} , E_{2n} – модулі пружності (Юнга) для сталі та гірської породи відповідно.

Втискуванню бурильного замка в масив гірської породи (деформація гірської породи) визначають з умови:

$$\Delta h = 0,655 \cdot n_{\Delta} \cdot \sqrt[3]{P^2 \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_{\text{вс}}} - \frac{1}{R_{\text{св}}} \right) \times \left(\frac{1 - \mu_{\text{см}}^2}{E_{\text{см}}} + \frac{1 - \mu_{\text{зн}}^2}{E_{\text{зн}}} \right)^2}, \quad (2)$$

де n_{Δ} – коефіцієнт, який визначають із відношення коефіцієнтів рівняння еліпса взаємодії A і B .

Відповідно до наведених вище залежностей напруження σ_{max} та деформація гірської породи Δh залежать від пружних властивостей матеріалів і є нелінійними функціями від сили притискання P .

Таким чином, процес жолобоутворення безпосередньо залежить від сили притискання бурильного замка до стінки свердловини P . Зазначену взаємодію характеризує розрахункова схема розтягнутої частини бурильної колони у стовбурі скерованої свердловини радіусом викривлення $R_{\text{вс}}$ (рисунок 2). Радіальне зміщення осі бурильної колони Δ у цьому випадку:

$$\Delta = R_{\text{вс}} - \sqrt{R_{\text{вс}}^2 - l_1^2} + R_3, \quad (3)$$

де l_1 – довжина ділянки БК, яка описується прогином Δ .

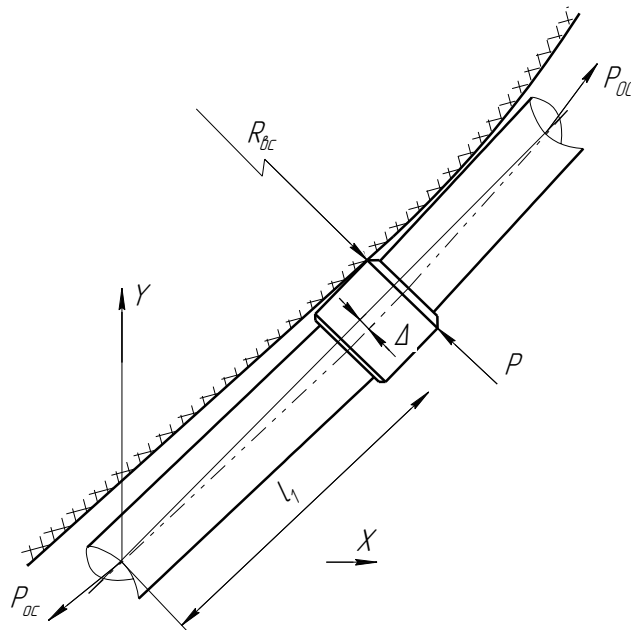


Рисунок 2 – Розрахункова схема розтягнутої частини бурильної колони в стовбурі свердловини довільної кривизни

Визначення сил притискання бурильної колони до стінок скерованої свердловини з радіусом викривлення $R_{\text{вс}}$ зводиться до розрахунку плоскої задачі методом диференціальних рівнянь її пружної осі при відповідних розв'язках і граничних умовах:

$$E_{\text{см}} I \frac{d^2 y_1}{dx_1^2} = -P_{\text{ос}} y_1(x_1) + \frac{q x_1^2 \sin(\alpha)}{2}, \quad (4)$$

де q – вага погонного метра бурильної колони; P_{OC} – осьова сила розтягу, яка діє на бурильну колону.

$$E_{cm} I \frac{d^2 y_2}{dx_2^2} = -[P_{OC} - q l_1 \cos(\alpha)] y_2(x_2) - P x_2 + \frac{q}{2} (l_1^2 + 2l_1 x_2 + x_2^2) \sin(\alpha); \quad (5)$$

$$\left. \begin{array}{l} x_1 = 0 \Rightarrow y_1(0) = 0 \\ x_1 = l_1 \\ x_2 = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} y_1(l_1) = \Delta \\ y_2(0) = \Delta \\ y_1'(l_1) = y_2'(0) \\ M_1(l_1) = M_2(0) \end{array} \right\} \quad (6)$$

$$\left. \begin{array}{l} x_2 = l_2 \Rightarrow y_2(l_2) = 0 \end{array} \right\}$$

За таких граничних умов (6), отримуємо систему шести нелінійних рівнянь, за якою визначаються P , l та постійні інтегрування A_i і B_i .

Для встановлення впливу радіуса викривлення стовбура свердловини, жорсткості бурильної колони та осьової розтягуючої сили P_{OC} на притискання бурильного замка до стінки свердловини P проведено розрахунок і отримано графічні залежності, зображені на рисунках 3 та 4.

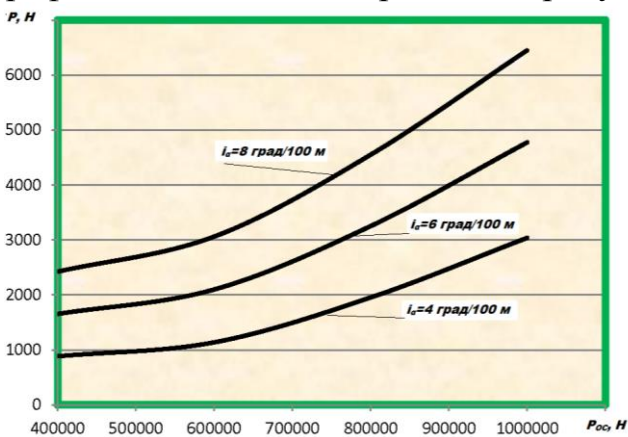


Рисунок 3 – Залежність сили притискання бурильного замка P до стінки свердловини від зміни інтенсивності викривлення і осьового розтягуючого зусилля P_{OC}

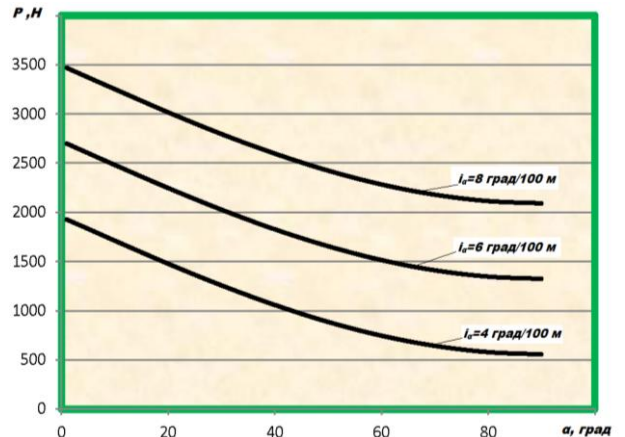


Рисунок 4 – Залежність сили притискання бурильного замка P до стінки свердловини від зміни інтенсивності викривлення і зенітного кута осі стовбура свердловини

Як видно з графіка (рисунок 3), збільшення осьового розтягуючого зусилля P_{OC} на бурильну колону і інтенсивності викривлення свердловини, призводить до мінімального зростання сил притискання бурильного замка до стінки свердловини.

На графіку (рисунок 4) зображено залежність сили притискання бурильного замка від зенітного кута стовбура свердловини. Встановлено, що внаслідок зменшення впливу сил гравітації зменшуються сили притискання бурильного замка до стінки скерованої свердловини, які при досягненні 80° стабілізуються.

Подальші графо-аналітичні дослідження пов'язані зі встановлення впливу сили притискання на виникнення напружень у пристовбурній зоні свердловини та

глибини втискування бурильного замка в гірську породу, за результатами яких побудовано графічні залежності, наведені на рисунках 5 та 6.

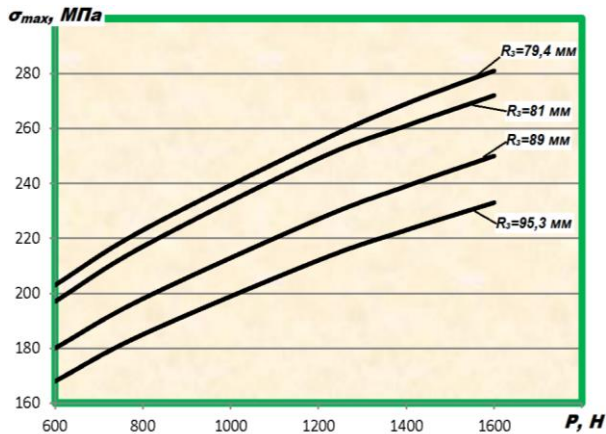


Рисунок 5 – Залежність максимальних напружень в гірській породі від радіуса бурильного замка R_z та сили притискування P

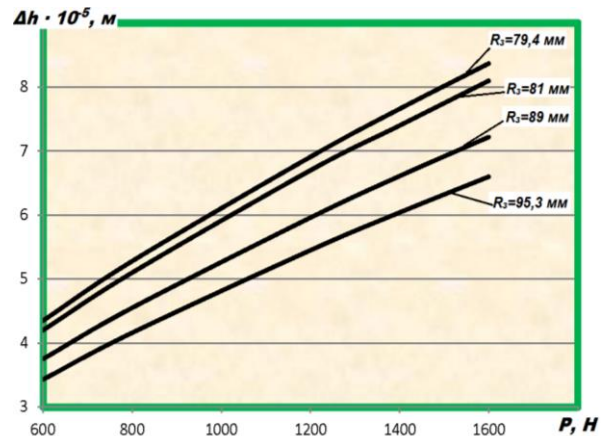


Рисунок 6 – Залежність глибини втискування бурильного замка в гірську породу від радіуса бурильного замка R_z та сили притискування P

Як бачимо, при сталому діаметрі стовбура скерованої свердловини зменшення діаметра бурильного замка (відповідно і бурильної колони) при рівних силах її осьового натягу зумовлюють різке зростання максимальних напружень в гірській породі (рисунок 5).

З графіка, наведеного на рисунку 6, видно, що при сталому діаметрі стовбура скерованої свердловини зменшення діаметра бурильного замка при рівних силах його осьового натягу також зумовлюють різке зростання глибини втискування бурильного замка у гірську породу.

Для дослідження переміщення бурильної колони вздовж стінки скерованої свердловини по криволінійній траєкторії характерною є система диференціальних рівнянь руху твердого тіла у проекції на натуральні осі координат n , τ (рисунок 7). При цьому рівняння руху ділянки бурильної колони описується:

$$\sum F_{n_i} = m a_n = m \frac{V^2}{R_{\text{вс}}}; \quad (7)$$

$$\sum F_{\tau_i} = m a_{\tau} = m \frac{dV}{dt}, \quad (8)$$

де F_{n_i} – сума проекцій сил на головну нормаль; a_n – доцентрове (нормальне) прискорення; m – приведена маса бурильного замка; V – швидкість руху бурильного замка вздовж стінки свердловини; F_{τ_i} – сума проекцій сил на дотичну вісь; a_{τ} – тангенціальне (дотичне) прискорення; t – час контакту бурильного замка з стінкою свердловини.

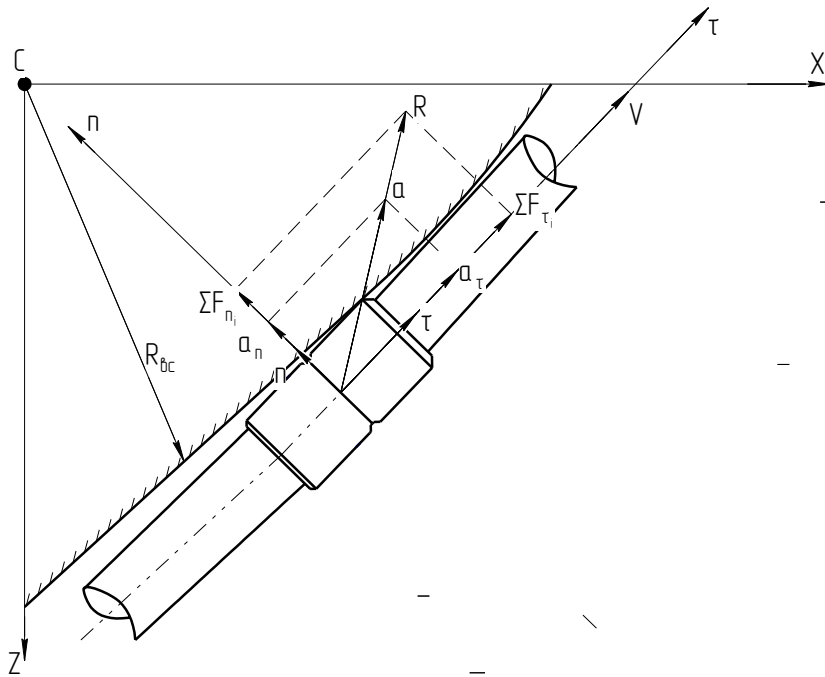


Рисунок 7 – Розрахункова схема для дослідження руху елемента бурильної колони вздовж стінки свердловини по криволінійній траєкторії

Як «жолобоутворюючий» елемент бурильної колони пропонується розглянути бурильний замок, який відповідно до попередніх досліджень є основною причиною утворення повздовжньої виробки на стінці свердловини.

Рівнодійну силу, що діє на бурильний замок визначають:

$$R = \sqrt{\sum F_{n_i}^2 + \sum F_{\tau_i}^2} . \quad (9)$$

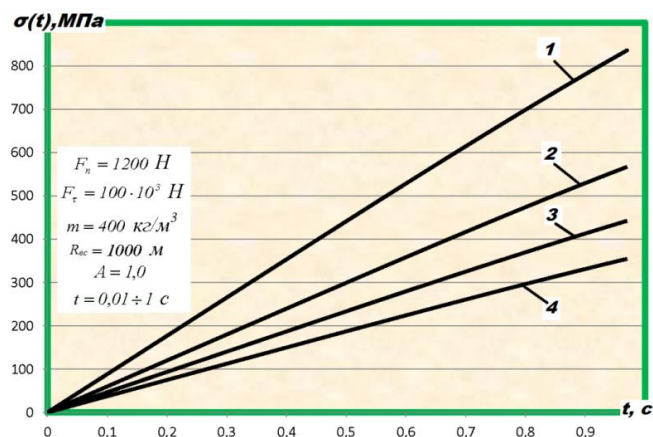
Швидкість руху ділянки та напруження руйнування стінки скерованої свердловини пов'язані залежністю:

$$V = \sqrt{\frac{-\frac{m^2}{t^2} \pm \sqrt{\left(\frac{m^2}{t^2}\right)^2 + 4 \frac{m^2}{R_{вс}^2} R^2}}{2 \frac{m^2}{R_{вс}^2}}}; \quad (10)$$

$$\sigma_P = A^* \sqrt{\rho_{ГП} E_{zn}} \sqrt{\frac{-\frac{m^2}{t^2} \pm \sqrt{\left(\frac{m^2}{t^2}\right)^2 + 4 \frac{m^2}{R_{вс}^2} R^2}}{2 \frac{m^2}{R_{вс}^2}}}, \quad (11)$$

де A^* – коефіцієнт пропорційності, для кільцевого перерізу стінки скерованої свердловини; $\rho_{ГП}$ – густина гірської породи.

Залежність контактних напружень у гірській породі на поверхні стінки свердловини від часу взаємодії з нею бурильного замка подано на рисунку 8.

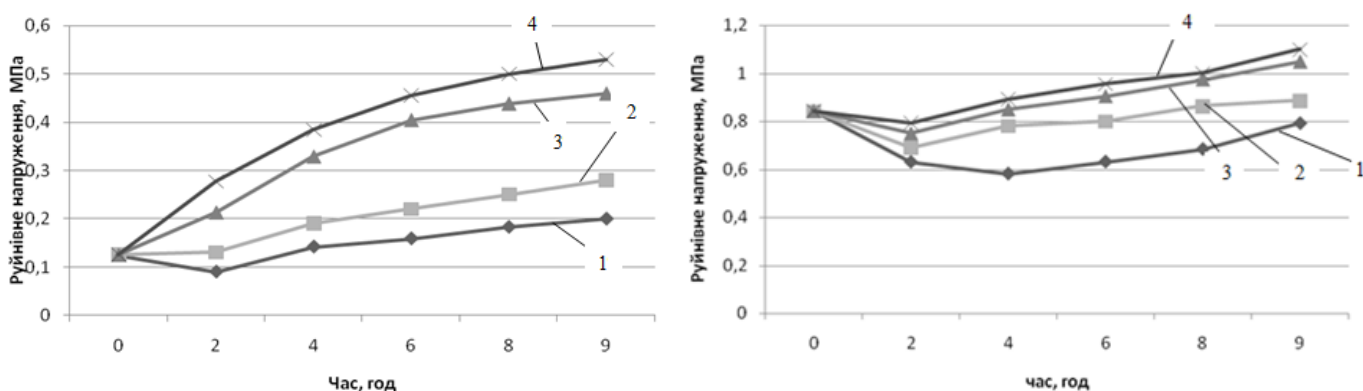


1 – пісковик ($E_{zn}=0,5 \cdot 10^{10}$ Па); 2 – глинистий сланець ($E_{zn}=0,23 \cdot 10^{10}$ Па);
3 – глина ($E_{zn}=0,14 \cdot 10^{10}$ Па); 4 – аргіліти ($E_{zn}=0,09 \cdot 10^{10}$ Па).

Рисунок 8 – Залежність контактних напружень у гірській породі на поверхні стінки свердловини від часу взаємодії з нею бурильного замка

З рисунка 8 видно, що критичні напруження, за яких відбувається руйнування гірської породи настають, коли час контакту бурильного замка з породою перевищує 0,1 с.

У третьому розділі проаналізовано фактори, що впливають на стійкість стінок свердловини в умовах, схильних до осипань і обвалювань гірських порід. Експериментально встановлено і обґрунтовано доцільність використання технологічних систем для зміцнення стінок свердловин, зокрема глинистих сланців. Експериментальними дослідженнями на глинисто-піщаних взірцях (моделях) гірської породи доказано ефективність паливно-бітумної ванни на основі пічного побутового палива і окисленого бітуму. За їх результатами отримано графічні залежності міцнісних властивостей взірців від дії компонентів ванни, які представлені на рисунку 9.



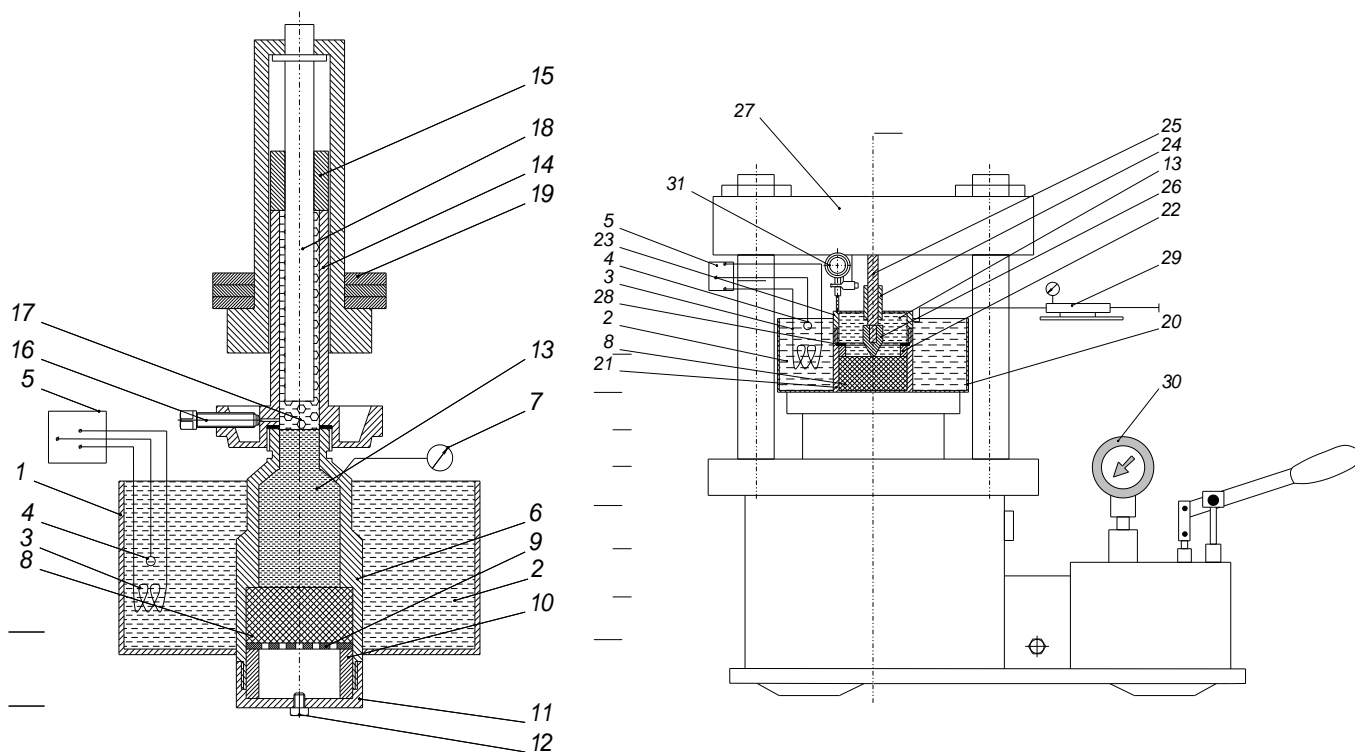
а) – високопроникні взірці породи
(85% піску + 15% глини)

б) – слабопроникні взірці породи
(100% глини)

1 – 1 % високоокисленого бітуму та 99% пічного побутового палива; 2 – 3 % високоокисленого бітуму та 97% пічного побутового палива; 3 – 5 % високоокисленого бітуму та 95% пічного побутового палива; 4 – 9 % високоокисленого бітуму та 91% пічного побутового палива.

Рисунок 9 – Динаміка руйнування взірців породи залежно від часу дії та адгезійних властивостей ванни

Для дослідження впливу закріплюючої ванни на стінки свердловини за термобаричних умов автором створено експериментальну установку (рисунок 10), яка складається з блока для фільтрації технологічної рідини через зразки гірських порід (рисунок 10 а) та блока для дослідження фізико-механічних властивостей гірських порід (рисунок 10 б). Розроблено оригінальну методику досліджень, яка дозволяє моделювати умови в реальній свердловині.



а)

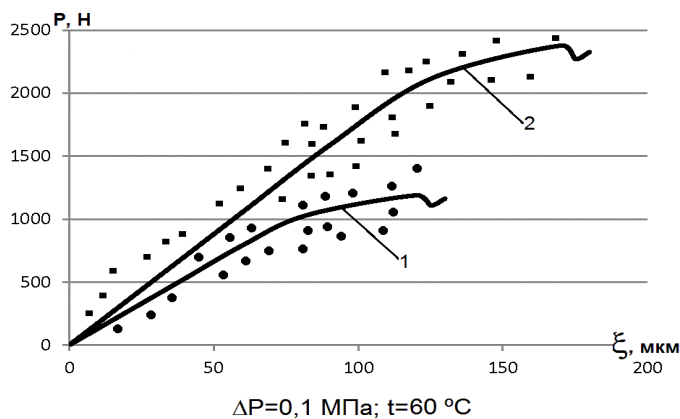
б)

1 – бак; 2 – вода; 3 – нагрівальний елемент; 4 – терморегулятор; 5 – вузол управління; 6 – фільтраційний стакан; 7 – манометр; 8 – гірська порода; 9 – фільтраційна решітка; 10 – кільце; 11 – піддон; 12 – гвинт; 13 – технологічна рідина (ванна); 14 – циліндр; 15 – втулка; 16 – голчастий клапан; 17 – машинне масло; 18 – плунжер; 19 – регульований вантаж; 20 – бачок; 21 – стакан; 22 – кільце; 23 – кришка; 24 – напрямна втулка; 25 – натискний плунжер; 26 – індентор; 27 – прес; 28 – прокладка; 29 – насос; 30 – манометр; 31 – індикатор.

Рисунок 10 – Принципова схема конструкції експериментальної установки

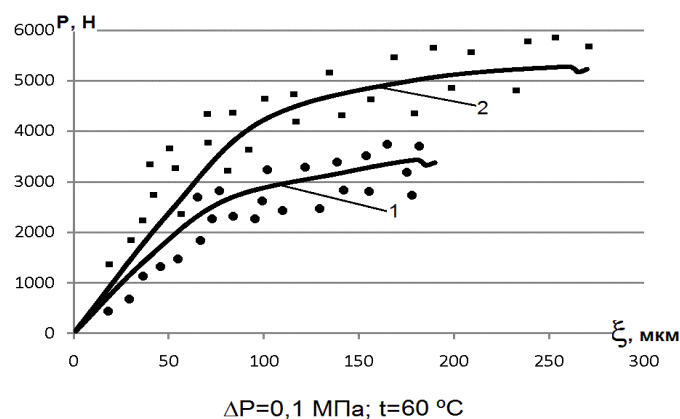
Встановлено, що застосування запропонованої ванни впродовж 7÷8 годин дозволяє підвищити міцність гірської породи на стиск в 1,2 ÷ 4 рази, що сприятиме суттєвому підвищенню цілісності стінок свердловини.

Для гірської породи з вищим вмістом глини показник руйнівного зусилля менший порівняно із низькоглинизованими гірськими породами (пористими і тріщинуватими). Отримано залежності $P=f(\xi)$, які кількісно і якісно доводять вплив орієнтації площини напластування гірської породи, температури, тиску і насиченості паливно-бітумною ванною на механічні властивості моделей (рисунок 11) і натурних взірців (керн) (рисунок 12).



$\Delta P=0,1$ МПа; $t=60$ °С

а) – 85% піску та 15% глини

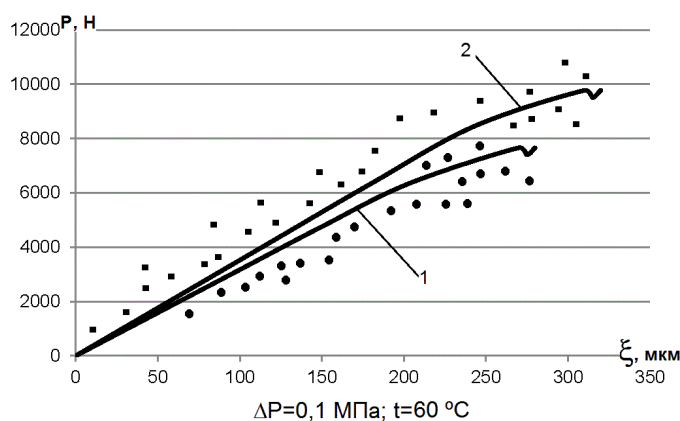


$\Delta P=0,1$ МПа; $t=60$ °С

б) – 100% глини

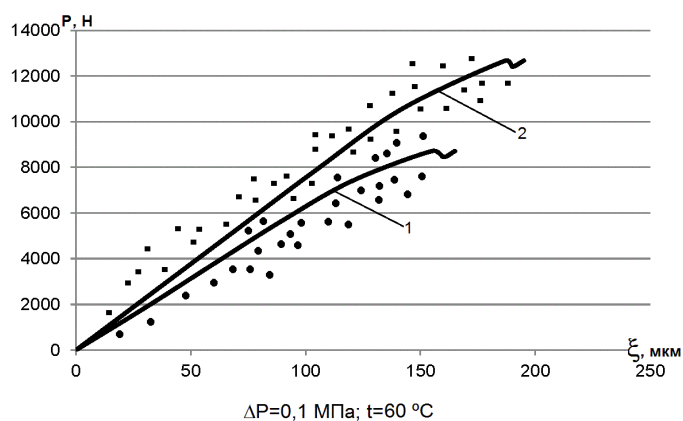
1, 2 – відповідно необроблена і оброблена гірська порода паливно-бітумною ванною

Рисунок 11 – Залежність реакції опору моделі гірської породи від глибини втискування в неї металевого індентора



$\Delta P=0,1$ МПа; $t=60$ °С

а) – 50% глини та 50% піску



$\Delta P=0,1$ МПа; $t=60$ °С

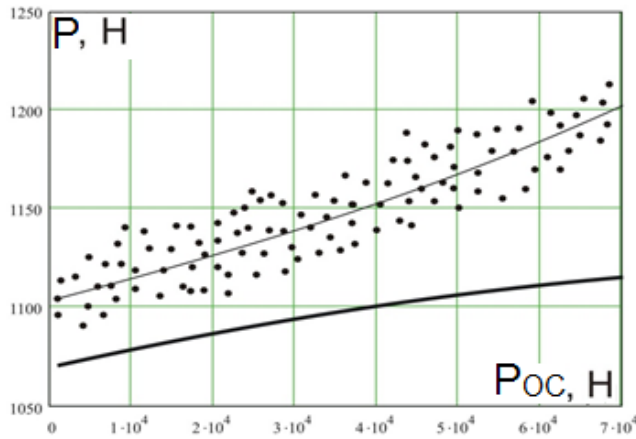
б) – 15% глини та 85% піску

1, 2 – відповідно необроблена і оброблена гірська порода паливно-бітумною ванною

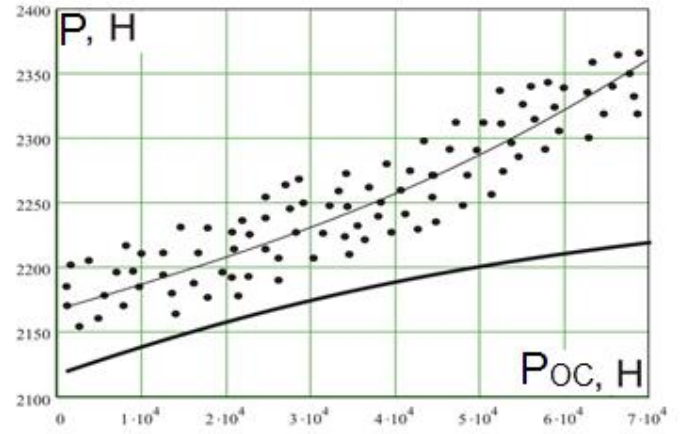
Рисунок 12 – Залежність реакції опору натурних взірців гірської породи від глибини втискування в неї металевого індентора

Для підтвердження результатів аналітичних досліджень сил притискання бурильного замка до стінки скерованої свердловини проведено експериментальні дослідження. В результаті виконаної роботи отримано залежності сил притискання бурильного замка до стінки свердловини від осьового натягу бурильної колони (рисунок 13). Не зважаючи на те, що результати проведених експериментальних досліджень мають більш якісний характер, вони в загальному відображають чітку картину зміни технологічних параметрів взаємодії бурильної колони зі стінками свердловини в реальних умовах.

За наведеними параметрами моделі бурильної колони та сформованими критеріями подібності запропоновано методику інтерпретації результатів досліджень.



ЛБТ 114,3



СБТ 101,6

— — експериментально отримані криві; ———— — криві, отримані за розрахунком

Рисунок 13 – Експериментальні і розрахункові значення сил притискування бурильної колони до стінки свердловини при зміні осевої сили на неї

У четвертому розділі запропоновано техніко-технологічні рішення щодо запобігання руйнуванню стінок скерованих свердловин за гірничо-геологічних умов родовищ України. Розроблено пристрій для дослідження фільтрації бурових технологічних рідин через зразки гірських порід, який дозволяє проводити дослідження фільтрації бурових технологічних рідин через зразки із різних гірських порід за термобаричних умов та силового навантаження.

Розроблено технологію встановлення паливно-бітумної ванни (рисунок 14), успішно апробовану у свердловині № 28 – Кадобнянська. У наслідок чого вдалося забезпечити цілісність стінок свердловини у складних гірничо-геологічних умовах.

Для запобігання та боротьби із жолобоутворенням запропоновано компоновку низу бурильної колони (рисунок 15), яка складається зі ступінчастих обважнених бурильних труб, ексцентричного твердосплавного долота ИНМ АП, з одночасним встановленням конічних перехідників у місцях переходу з більшого діаметра елемента бурильної колони до меншого. З допомогою зазначеної компоновки вдалося ефективно ліквідувати жолоб в свердловині №28 – Кадобнянського родовища ТОВ «Карпатська бурова компанія» на ділянці 300 м і, як наслідок, запобігти прихопленню бурильної колони.

На основі отриманих результатів запропоновано і впроваджено у виробництво нові науково-обґрунтовані рішення щодо запобігання руйнуванню стінок скерованих свердловин в ТОВ «Ендейвер», м. Полтава у вигляді «Методики попередження жолобоутворення на стінках скерованої свердловини замками бурильної колони». Прийнято до використання «Рекомендацій щодо застосування паливно-бітумної ванни для підвищення міцності глинистих гірських порід при бурінні свердловин» та «Рекомендацій щодо застосування компоновки низу бурильної колони для ліквідації жолоба в свердловині» на родовищах ТОВ «Карпатська бурова компанія», м. Івано-Франківськ.

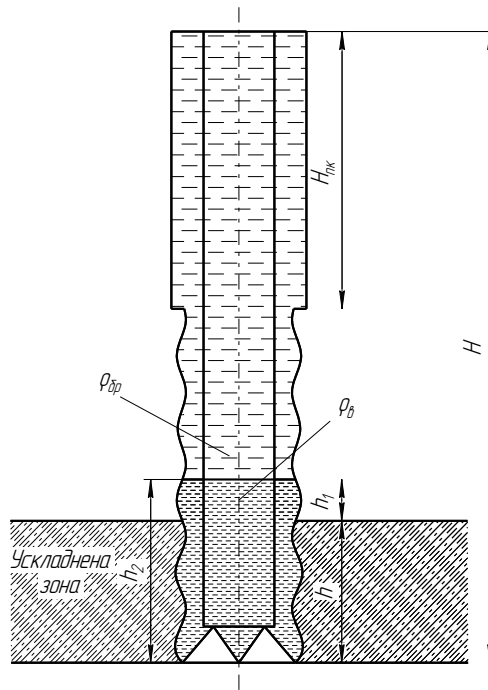
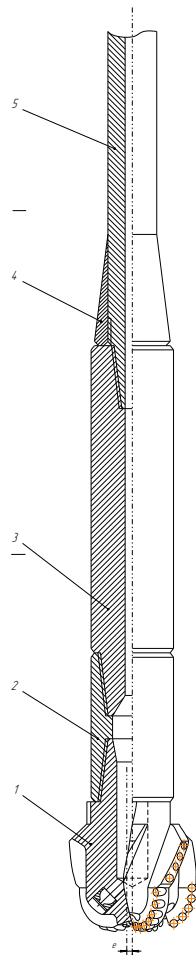


Рисунок 14 – Схема для розрахунку ванни за умови, що ускладнена зона залягає над долотом



1 – ексцентричне долото ИНМ АП 218 МС; 2 – наддолотний перехідник; 3 – ОБТ з більшим зовнішнім діаметром; 4 – перехідний конус; 5 – ОБТ з меншим зовнішнім діаметром
Рисунок 15– Компонівка для ліквідації жолоба в свердловині

ВИСНОВКИ

На основі проведених теоретичних і експериментальних досліджень вирішено актуальне науково-практичне завдання щодо вдосконалення технології запобігання руйнуванню стінок скерованих свердловин шляхом розроблення і промислової апробації нової методології. Висновки, які узагальнюють результати виконаних досліджень полягають в наступному.

1. Проведено аналіз сучасного стану досліджень та статистичної виробничо-технологічної інформації проблем стійкості та причин руйнування стінок скерованих свердловин у процесі їх спорудження. В результаті встановлено, що руйнування стінок свердловини і жолобоутворення є характерним ускладненням при спорудженні вертикальних та скерованих свердловин, однією з причин якої є взаємозв'язок між напружено-деформованим станом гірської породи та бурильною колоною в пристінній зоні стовбура свердловини в процесі виконання окремих технологічних задач під час буріння, дослідження якого є актуальною проблемою, що потребує вирішення.

2. Розроблено аналітичну модель контактної задачі взаємодії елементів бурильної колони з гірською породою стінки скерованої свердловини в інтервалі зміни інтенсивності викривлення. На основі отриманого, вдосконалено метод статичного розрахунку сил притискання бурильних замків до стінки свердловини і їх втискування в неї з подальшою оцінкою напружено-деформованого стану гірської породи пристовбурного шару в довільному інтервалі викривлення та врахуванням енергетичних затрат на формування жолобів на стінках свердловини. Встановлено залежності статичних характеристик контактної взаємодії елементів бурильної колони зі стінками скерованої свердловини від зміни техніко-технологічних і гірничо-геологічних чинників процесу поглиблення свердловини і аналітично визначено основні чинники жолобоутворення торцевими частинами бурильних замків.

3. Проведено аналітичні дослідження впливу техніко-технологічних заходів з підвищення стійкості стінок скерованої свердловини на основі оцінки ефективності їх застосування і впливу на напружено-деформований стан гірської породи пристовбурової частини. Встановлено, що критичні напруження, за яких відбувається руйнування гірської породи та розпочинається утворення жолобів на стінках викривленого стовбура свердловини настають, при відповідній тривалості контакту з нею торцевої частини бурильного замка та швидкості руху бурильної колони при виконанні спуско-підіймальних операцій.

4. Розроблено експериментальне устаткування і технологію проведення експериментальних досліджень впливу гірничо-геологічних і техніко-технологічних чинників на стійкість стінок скерованих свердловин в змодельованих термобаричних умовах. Обґрунтовано доцільність і запропоновано технологію використання гідрофобних рідин з вмістом 5÷9 % окисленого бітуму для зміцнення стінок свердловин, складених глинистими гірськими породами, в тому числі і глинистими сланцями з тривалістю перебування її в свердловині впродовж 7÷8 год.

5. Надано подальшого розвитку методам запобігання розвитку процесу жолобоутворення на стінках скерованої свердловини на основі комплексного використання результатів аналітичного моделювання та практичного експерименту шляхом експрес-оцінки стійкості гірських порід пристовбурової зони в умовах її руйнування. Запропоновано технологію встановлення паливно-бітумних ванн для зміцнення стінок скерованих свердловин, схильних до руйнування та жолобоутворення під дією навантажень елементів бурильної колони.

6. На основі отриманих результатів запропоновано і впроваджено у виробництво нові науково-обґрунтовані рішення щодо запобігання руйнуванню стінок скерованих свердловин в ТОВ «Ендейвер», м. Полтава у вигляді «Методики попередження жолобоутворення на стінках скерованої свердловини замками бурильної колони» та в процесі промислового буріння свердловини №28 – Кадобнянська, ТОВ «Карпатська бурова компанія», м. Івано-Франківськ.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті, в яких опублікуванні основні результати дисертації

1. Чудык И. И., Ризнычук А. И., Юрыч А. Р. Лабораторные исследования механических свойств горных пород в условиях, приближенных к реальным. *Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море*. 2013. № 1. С. 35-41.
2. Чудик І. І., Різничук А. І., Гриджук Я. С., Юрич А. Р. Попередження жолобоутворення при бурінні похило-скерованих свердловин. *Молодий вчений*. 2016. №11(38). С. 46-49.
3. Оринчак М. І., Різничук А. І., Оринчак М. М., Бейзик О. С. Паливно-бітумна ванна. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2010. №3(40). С. 90-95.
4. Чудик І. І., Різничук А. І., Мілостян М. О., Жолоб Н. Р. Експериментальні дослідження енергопередавальних функцій бурильної колони у стовбурі скерованої свердловини. *Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу*. 2012. № 3(33). С. 73-80.
5. Чудик І. І., Різничук А. І., Мілостян М.О., Шутка П. М. Експериментальні дослідження на моделях компоновок низу бурильної колони. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2012. № 4(45). С. 80-86.
6. Чудик І. І., Різничук А. І., Юрич А. Р. Один із методів вирішення проблеми стійкості стовбура свердловини при бурінні в сланцевих відкладах. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2012. № 3(44). С. 55-62.
7. Чудик І. І., Різничук А. І. Дослідження передумов жолобоутворення на стінках свердловини замками бурильної колони. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2014. № 2(51). С. 80-87.
8. Чудик І. І., Фем'як Я. М., Різничук А. І., Васько І. С., Юрич Л. Р. Експериментальні дослідження механічних властивостей гірських порід в термобаричних умовах. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2019. №3(72). С. 32- 41.

Тези наукових конференцій

9. Різничук А. І., Чудик І. І., Юрич А. Р. Метод лабораторного дослідження механічних властивостей гірських порід. *Інноваційні технології буріння свердловин, видобування нафти і газу та підготовки фахівців для нафтогазової галузі: праці Міжнар. наук.-техн. конф. (м. Івано-Франківськ, 3 – 6 жовт. 2012)*. Івано-Франківськ. 2012. С. 16-19.
10. Чудик І. І., Різничук А. І., Мілостян М. О., Жолоб Н. Р. Експериментальні дослідження енергопередавальних функцій бурильної колони у стовбурі скерованої свердловини. *Інноваційні технології буріння свердловин, видобування нафти і газу та підготовки фахівців для нафтогазової галузі: праці Міжнар. наук.-техн. конф. (м. Івано-Франківськ, 3 – 6 жовт. 2012)*. Івано-Франківськ. 2012. С. 26-29.
11. Чудик І. І., Різничук А. І., Мілостян М. О., Шутка П. М. Експериментальні дослідження на моделях компоновок низу бурильної колони. *Техніка і прогресивні технології у нафтогазовій інженерії – 2012: праці Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Івано-Франківськ, 5 – 7 лист. 2012)*. Івано-Франківськ. 2012. С. 183-185.
12. Різничук А. І., Юрич Л. Р. Про причини моделювання пластових умов при дослідженні механічних властивостей гірських порід. *Сучасний соціокультурний простір 2012. праці 9-ї Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. 20-22 вересня 2012*. URL: <http://intkonf.org/category/arhiv/1-suchasniy-sotsiokulturniy-prostir-2012-20-22092012>. (дата звернення: 28.12.2018 р.)
13. Чудик І. І., Різничук А. І., Юрич А. Р. Нові можливості підвищення механічних властивостей гірських порід. *Інновації і трансфер технологій: від ідеї до прибутку: праці IV Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Дніпропетровськ, 24 – 26 квіт. 2013)*. Дніпропетровськ. 2013. С. 104-106.
14. Чудик І. І., Юрич А. Р., Різничук А. І., Яценко Т. В. Застосування пакету *solidworks* для прогнозування жолобоутворення при бурінні похило-скерованих і горизонтальних свердловин. *Графічна освіта у ВНЗ: стан та перспективи: праці Всеукраїнського наук.-практ. семінару. (м. Івано-Франківськ, 19 – 20 вересня 2013)*. Івано-Франківськ. 2013. С. 80-83.
15. Чудик І. І., Юрич А. Р., Процюк В. Р., Різничук А. І. Аналітичний метод дослідження процесу жолобоутворення при бурінні похило-скерованих свердловин. *Нафтогазова енергетика 2013: праці Міжнар. наук.-техн. конф. та виставки. (м. Івано-Франківськ, 7 – 11 жовт. 2013)*. Івано-Франківськ. 2013. С. 113-116.
16. Юрич А. Р., Різничук А. І., Буй В. В., Дрогомирецький А. Б. Передумови жолобоутворення на стінках свердловини. *Нафтогазова освіта та наука: стан та перспективи: праці Міжнар. наук.-техн. конф. та виставки. (м. Івано-Франківськ, 10 – 12 жовт. 2014)*. Івано-Франківськ. 2014. С. 183-186.
17. Чудик І. І., Фем'як Я. М., Різничук А. І., Васько І. С., Юрич Л. Р. Експериментальні дослідження механічних властивостей гірських порід в термобаричних умовах. *Нафтогазова енергетика – 2019: праці Міжнар. наук.-техн. конф. (м. Івано-Франківськ, 27 – 31 трав. 2019)*. Івано-Франківськ. 2019.
18. Чудик І. І., Михайлюк В. В., Різничук А. І., Дейнега Р. О. Напружено-деформований стан гірської породи в умовах формування жолобної виробки. *Integración de las ciencias fundamentales y aplicadas en el paradigma de la sociedad*

post-industrial. Міжнародна науково-практична конференція. 24.04.2020. Барселона. ESP. С. 74 – 78.

Патенти

19. Патент України на корисну модель № 06981 МПК E21B 21/06. Пристрій для дослідження фільтрації бурових технологічних рідин через взірці гірських порід [Текст]/ Чудик І. І., Юрич А. Р., Різничук А. І., Пригоровська Т. О., Малишевська О. С., Роп'як Л. Я. – заяв. 21.06.2018; опубл. 25.01.2019, Бюл. №2. – 4 с.

АНОТАЦІЯ

Різничук А. І. Удосконалення технології запобігання руйнуванню стінок скерованих свердловин. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.15.10 – Буріння свердловин. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2020.

У роботі вдосконалено аналітичний метод розрахунку сил притискання бурильного замка до стінки свердловини з урахуванням техніко-технологічних і гірничо-геологічних чинників буріння в довільному інтервалі викривлення.

Встановлено залежність контактних напружень, які виникають в гірській породі на поверхні стінки свердловини від часу взаємодії з нею бурильного замка. Оцінено величини напружень і фронту їх розповсюдження у масиві гірської породи стінки свердловини від дії на неї бурильного замка.

Запропоновано рецептуру паливно-бітумної ванни яка дозволяє підвищити початкову міцність гірських порід на стиск, що забезпечить цілісність стінок стовбура. Розроблено експериментальну установку і подано технологію експериментальних досліджень з можливістю зміни температури і репресії. Запропоновано методи і засоби експериментального дослідження енергопередавальних функцій бурильної колони, які розширюють можливості вдосконалення їх конструкцій і умов експлуатації.

За промисловими даними запропоновано технологію встановлення паливно-бітумної ванни для запобігання жолобоутворенню. Для ліквідації жолоба у свердловині запропоновано компоновку низу бурильної колони.

Ключові слова: буріння, гірська порода, бурові технологічні рідини, ванна, похило-скерована свердловина, жолобна виробка, каверна, осипання та обвалювання, міцність, бурильний замок, упорний торець.

ABSTRACT

Riznychuk A. I. Improving the technology for preventing destruction of the walls of directional wells. – Manuscript.

Thesis for a PhD Degree in Engineering in the specialty 05.15.10 – Well drilling. – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2020.

An analytical method has been improved for calculating the forces of pressing the tool joint against the borehole wall, taking into account the technical, technological and mining-geological factors of drilling in an arbitrary interval of curvature.

The dependence of contact stresses that occur in the rock on the surface of the well wall on the time of interaction with the tool joint is established. The values of stresses and the front of their distribution in the rock mass of the well wall on the action of the tool joint on it are estimated.

A formulation of a fuel-bitumen bath has been proposed, which allows increasing the initial compressive strength of rocks, which will ensure the integrity of the borehole walls. An experimental setup has been developed and technologies for experimental research with the ability to change temperature and repressure are presented. Methods and means of experimental research of the energy-transmitting functions of the drill string, which expand the possibilities of improving their designs and operating conditions, are proposed.

According to industrial data, a technology has been proposed for installing a fuel-bitumen bath to prevent key-seating in the process of industrial drilling of well. To eliminate the key seat in the well, a bottom-hole assembly is proposed

Keywords: drilling, rock formation, drilling process fluids, bath, directional well, key-seating, cavity, crumbling and collapse, strength, tool joint, thrust end.

АННОТАЦИЯ

Ризнычук А. И. Совершенствование технологии предотвращения разрушения стенок направленных скважин. – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 05.15.10 – Бурение скважин. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, 2020.

В настоящее время развития отечественной газодобывающей отрасли проблема наращивания объема добычи углеводородов является чрезвычайно актуальной для нашего государства. За предыдущий промежуток времени значительно выросли объемы бурения направленных скважин. Однако бурение таких скважин связано с целым рядом проблем. Основные проблемы, которые могут возникать при этом связаны с недостаточной устойчивостью их ствола, что в большинстве случаев приводят к прихoppення бурильной колонны и существенного роста материальных затрат материалов и производственного времени на их ликвидацию.

Поэтому обеспечение целостности стенок скважины в процессе их бурения является первоочередной и крайне важной проблемой в системе мер, направленных на улучшение качества и повышение технико-экономических показателей их сооружения.

Диссертация посвящена усовершенствованию технологии предотвращения разрушения стенок направленных скважин, путем воздействия технико-технологических и горно-геологических факторов на изменение напряженно-деформированного состояния массива пристволенной зоны скважины.

Существующие научно-практические методы и подходы по предотвращению потери устойчивости стенок скважины не позволяют устранить указанную причину осложнений, так как большую роль играет правильный подбор неориентированной компоновки низа бурильной колонны и самой бурильной колонны, а также разработка мер по снижению интенсивности каверно- и желообразование при спуско-подъемных операциях.

В работе усовершенствован аналитический метод расчета сил прижимания бурильного замка к стенке скважины, напряжений в горной породе и глубины вдавливания бурильного замка в горную породу с учетом технико-технологических и горно-геологических факторов бурения в произвольном интервале искривления.

Установлена зависимость контактных напряжений, возникающих в горной породе на поверхности стенки скважины от времени взаимодействия с ней бурильного замка. Оценены величины напряжений и фронта их распространения в массиве горной породы стенки скважины от воздействия на нее бурильного замка.

Предложено рецептуру топливно-битумной ванны, установления которой в скважине в течение 7 ÷ 8 часов позволяет повысить начальную прочность горных пород на сжатие, что обеспечит целостность стенок ствола.

Разработана новая экспериментальная установка и представлены технологии лабораторных исследований с возможностью изменения температуры и репрессии, моделируя условия в скважине для исследования влияния топливно-битумной ванны, возможность и эффективность изменения прочности горных пород.

Предложены методы и средства экспериментального исследования энергопередающих функций бурильной колонны, которые расширяют возможности совершенствования их конструкций и условий эксплуатации.

По промышленным данным предложена технология установления топливно-битумной ванны для предотвращения жолобоутворения в процессе промышленного бурения скважины. Для ликвидации желоба в скважине предложено компоновку низа бурильной колонны.

На основе полученных результатов предложены и внедрены в производство новые научно-обоснованные решения относительно предотвращения разрушения стенок направленных скважин в ООО «Эндейвэр», г. Полтава в качестве «Методики предупреждения жолобоутворения на стенках направленной скважины замками бурильной колонны».

Ключевые слова: бурение, горная порода, буровые технологические жидкости, ванна, наклонно-направленная скважина, желобная выработка, каверна, осыпания и обрушения, прочность, бурильный замок, упорный торец.