

УДК 62-403:001 (477)

doi: 10.20998/2079-0821.2024.01.06

*В. І. ДМИТРЕНКО, Ю. Г. ДЯЧЕНКО***ПІДВИЩЕННЯ ЗМАЩУВАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОДНОГЛИНИСТИХ БУРОВИХ РОЗЧИНІВ ПІД ЧАС ПОХИЛО-СКЕРОВАНОГО ТА ГОРИЗОНТАЛЬНОГО БУРІННЯ**

У роботі представлені результати експериментальних досліджень антифракційних властивостей природних рослинних олій: рицинової, конопляної, рапсової, соєвої, гірчичної, соняшникової та кукурудзяної. Наведено результати дослідів, що дозволяють оцінити вплив досліджуваних природних олій на параметри прісного, мінералізованого та соленасиченого водоглинистого бурового розчинів, таких як густина, реологічні та структурно-механічні властивості, рівень рН, показник фільтрації, товщина та липкість глинистої кірки, коефіцієнт змащування. Експеримент було проведено з використанням методики Американського нафтового інституту (за стандартами API). Встановлено, що у прісному розчині найбільш ефективно виявили змащувальні властивості рапсова олія в концентраціях 1 і 3 % та соняшникова олії в концентрації 1 %, у мінералізованому розчині – соняшникова олія концентрацією 0,5 % та рапсова олія концентрацією 3 %, в соленасиченому розчині – рапсова олія концентрацією 1 %. Додатки соняшникової олії показали задовільні результати тестувань лише для прісного і мінералізованого водоглинистих розчинів. Порівняно з соняшниковою олією рапсова олія виявила себе при додаванні до всіх досліджуваних зразків розчинів. Можна зробити висновок, що введення рапсової олії забезпечує задовільні антифракційні та технологічні показники для всіх типів розчинів, тому як основу змащувальної добавки обрано рапсову олію. Технологічно доцільні концентрації олій знаходяться в діапазоні від 1 до 3 %. За цих концентрацій олії меншою мірою виявляють негативний побічний ефект, зокрема на спінювання розчину, розчини характеризуються стабільною в часі консистенцією та покращуються їх змащувальні властивості. Розроблено склад змащувальної добавки на основі рапсової олії для обробки різних типів водоглинистих бурових розчинів на водній основі.

Ключові слова: буровий водоглинистий розчин, рослинна олія, поверхнево-активні речовини, коефіцієнт зсуву (липкості) фільтраційної глинистої кірки, коефіцієнт змащування, мастильні властивості.

UDC 62-403:001 (477)

*V. I. DMYTRENKO, YU. GR. DIACHENKO***INCREASE OF THE LUBRICATING PROPERTIES OF WATER-CLAY DRILLING MUDS DURING INCLINED AND HORIZONTAL DRILLING**

The paper presents the results of experimental studies of the antifracturing properties of natural oils: castor, hemp, rapeseed, soybean, mustard, sunflower, and corn. The results of the experiments are presented, which allow to evaluate the effect of the studied natural oils on the parameters of fresh, mineralized and saline-saturated water-clay drilling mud (density, rheological and structural-mechanical properties, pH level, filtration index, thickness and stickiness of the clay crust, lubrication coefficient). The experiment was conducted using the methodology of the American Petroleum Institute (according to API standards). It was established that in the fresh solution, rapeseed oil in concentrations of 1 and 3 % and sunflower oil in a concentration of 1 % showed the most effective lubricating properties, in a mineralized solution - sunflower oil with a concentration of 0.5 % and rapeseed oil with a concentration of 3 %, in a saline-saturated solution - rapeseed oil with a concentration of 1 %. Sunflower oil additives showed satisfactory test results only for fresh and mineralized water-clay drilling mud. Compared to sunflower oil, rapeseed oil showed itself when added to all the tested samples. It can be concluded that the introduction of rapeseed oil provides satisfactory anti-fracture and technological indicators for all types of solutions, therefore rapeseed oil was chosen as the basis of the lubricant additive. Technologically appropriate concentrations of oils are in the range from 1 to 3 %. At these oil concentrations, the negative side effect, in particular on the foaming of the solution, is to a lesser extent, the solutions are characterized by a stable consistency over time, and their lubricating properties are improved. The composition of a lubricating additive based on rapeseed oil was developed for the treatment of various types of water-clay drilling mud.

Keywords: water-clay drilling mud, natural oil, surface-active substances, shear coefficient (stickiness) of the clay crust, lubrication coefficient, lubricating properties.

Вступ. Розвиток нафтогазовидобувної промисловості сприяє соціально-економічному розвитку України і забезпеченню народногосподарського комплексу вуглеводневою сировиною та продуктами її переробки, а також створенню експортного потенціалу країни [1-3]. Проте останнім часом нафтогазовидобувна галузь стикається з низкою проблем, які потребують вирішення. Великі родовища переважно вироблені, а нові структури досить часто представлені родовищами з малодобітними низькопроникними колекторами. У багатьох випадках вилучення вуглеводнів без застосування нових технологій стає проблематичним, незважаючи на досить високий рівень технологій сучасного буріння.

Найбільш перспективними в цьому випадку вважаються технології, засновані на похило-скерованому, горизонтальному глибокому бурінні та використанні розчинів з покращеними фільтраційними, інгібуючими, поверхнево-активними і змащувальними властивостями [4, 5].

Одним із основних факторів, що визначає успішність буріння свердловин, є якість бурового розчину. Бурові розчини, які становлять до однієї п'ятої від загальної вартості буріння свердловин, повинні відповідати трьом важливим вимогам: бути простими у використанні, не надто дорогими та безпечними для довкілля [6, 7].

При бурінні свердловин в більшості випадків застосовують бурові розчини на водній основі, рідше

використовують пряму або зворотну емульсію на вуглеводневій основі [8].

Особливо важливе значення має підтримка певного рівня змащувальних властивостей бурового розчину при бурінні похило-скерованих і горизонтальних свердловин. Змащувальні добавки значно збільшують термін роботи доліт й усього бурового обладнання. Досягається це за рахунок зниження сили тертя на всіх поверхнях контакту, рухомих або переміщуваних елементів бурового інструменту і обладнання між собою та з гірською породою [9]. При цьому знижується зношування, підвищується тривалість експлуатації обладнання, зменшується ймовірність ускладнень процесу буріння внаслідок прихватів і посадок бурового інструменту, залипання колони бурильних труб у жолобах і на ділянках викривлення свердловини [6, 10, 7]. Промислові дані свідчать, що частка зниження величини опорів руху інструменту в колоні, обумовлена мастильним ефектом, становить понад 60 % [9, 11].

Розвитком науки щодо керування технологічними параметрами бурових розчинів, удосконалення їх компонентного складу та розробкою оптимальних рецептур займалися такі дослідники, як Акульшин О.О., Андрусак А.М., Бакулін Є.М., Богославець В.В., Васильченко А.О., Вдовиченко А.І., Верста О.М., Войтов В.А., Гавриленко Н.М., Гурський С.А., Давиденко А.Н., Дудля Н.А., Дрогомирецький Я.М., Жуган О.А., Закіров А.Я., Зіньков Р.В., Єрмаков М. П., Коваленко В.Ф., Коцкулич Я.С., Коцкулич Є.Я., Кузьменко А.Г., Кунцяк Я.В., Кустурова О.В., Литвинець А.Б., Левчук К.Г., Лубан С.В., Лубан Ю.В., Ляменков С.В., Магун М.Я., Мартиненко І.І., Мислюк М.А., Наконечна Г.А., Овечкський С.О., Пилип Я.А., Процишин В.Т., Ранський А.П., Розенгафт А.Г., Сіренко Г.О., Собакар Т.І., Тимошенко В.А., Титаренко Н.Х., Харів І.Ю., Шевченко Р.О., Щукин Н.В., Яремійчук І.Ю., Яремійчук Р.С. та інші.

За кордоном історія розвитку наукового напрямку за технологією буріння свердловин і бурових розчинів представлена в роботах товариства інженерів-нафтовиків (SPE), публікаціях 1970 – 2022-х років Роджерса В.Ф., Бобо Р.А., у книгах Грей Д.Р., Дарлі Г.С.Г., Бургойна А.Т., докладно описана в сучасному довіднику інженера-нафтовика Лайонза У.Р., Плізга Г.В., Мітчелла Р.Ф., Лейко Л.В., а також у роботах таких науковців, як Apaleke A.S., Al-Majed A.A., Hossain M.E., Holand J., Kvamme S.A., Omeland T.H., Saasen A., Taugbol K., Jamth J., Beg O.A., Sanchez Espinoza D.E., Kadir A., Shamshuddin M., Sohail A. та інші [11, 12].

На цей час запропоновано значну кількість змащувальних добавок до бурових розчинів, про що свідчать численні дані патентних і літературних джерел. Змащувальні добавки представлені широким

набором різних класів хімічних сполук: лужні солі металів жирних кислот; складні ефіри жирних кислот; хлоровані, сульфовані, конденсовані жирні кислоти, а також складні суміші природних речовин, наприклад, гудрони рослинних олій тощо [13].

Тестування великої кількості змащувальних добавок у бурових розчинах різних типів показало, що змащувальні добавки можуть бути активними компонентами розчину, тобто можуть помітно впливати на структурно-механічні та реологічні (в тому числі тиксотропні) властивості розчину, а також на водовіддачу, що пояснюється їх адсорбцією на поверхні твердих частинок у розчині [14, 15]. Основний акцент при співставленні зразків зроблено на первинних властивостях – здатності змащувати буровий розчин. Змащувальні добавки є необхідним компонентом розчину для промивки свердловини при бурінні похило-скерованих і горизонтальних глибоких свердловин [16].

Зараз на ринку представлений значний асортимент вітчизняних змащувальних добавок, таких, як СМАД, СГ, ЗСОМ, ЕКСТРА-С, СПРИНТ, ТРИБОС, КЕРТОЛ, КЕМФОР МСМ, ФК-2000, ФК-2000 Плюс ЛУБРИ-М, ГЛИТАЛ, ПОЛИТАЛ, ЖИРМА, СРЖН, водні розчини ПАР тощо.

На сьогоднішній день змащувальні добавки також виробляються та поставляються в широкому асортименті й провідними зарубіжними хімічними фірмами (CESCO, AVA, Venture, Ixex, Alpine) та сервісними компаніями з буріння свердловин (Baroid, M-1 Drilling Fluids, Baker, Messina, K-Lube, TEQ-Lube, Lubristeel, FRW, Lubrital, PolyMudLiquid, ASP 820, Drill-Free, IK-Lube та інші) [11, 12].

Як змащувальні добавки до бурових розчинів іноді застосовують нафту, дизельне паливо або композиції на їхній основі [6].

Узагальнення експериментальних даних і накопиченого промислового досвіду дозволяє сформулювати основні вимоги, яким повинні відповідати змащувальні добавки. Змащувальні добавки повинні мати наступні технологічні властивості: підвищувати мастильні, протизносні та протиприхватні властивості бурового розчину, у тому числі в умовах високих контактних тисків та температур; не викликати спінювання бурового розчину; підвищувати гідрофобізуючі, інгібуючі та поверхнево-активні властивості фільтрату бурового розчину, внаслідок чого суттєво покращується коефіцієнт відновлення початкової проникності керну; не надавати негативного впливу на показання газового каротажу; бути добре сумісними з усіма реагентами, що застосовуються для обробки бурових розчинів, та сприяти зниженню показника фільтрації розчину [7, 8]; бути екологічно безпечними та технологічними у використанні [17].

Однак більшість із застосовуваних добавок не відповідають цим вимогам. Деякі з перерахованих

змащувальних добавок (СМАД, СГ та інші) не рекомендується використовувати з точки зору охорони навколишнього середовища, інші не знайшли широкого застосування через: сильну спінуючу здатність (СПРИНТ, ФК-2000, ЛУБРИ-М та інші); зниження ефективності в умовах полімінеральної агресії (ТРИБОС, ЗСОМ, ЕКСТРА-С, КЕМФОР-МСМ та інші); не технологічність (КБ-4В, водні розчини ПАР та інші); відсутність доступної сировинної бази та обмеженого виробництва (ЕКОС-Б, ЕМСА та інші) [18].

Як показав промисловий досвід, змащувальні добавки на основі нафти та нафтопродуктів також мають суттєві недоліки при застосуванні: негативно впливають на результати геофізичних досліджень; забруднюють навколишнє середовище; пожежо- та вибухонебезпечні і застигають при негативних температурах [6]. Крім того, при зупинках буріння та припиненні промивки стовбура свердловини із технічних та технологічних причин змащувальні добавки на основі нафти та нафтопродуктів мігрують по стовбуру свердловини на поверхню, створюючи прихваторнебезпечні умови для низу бурильної колонії. Промисловими даними також багаторазово встановлено, що при бурінні глибоких свердловин, де вибірні температури вище за 150 °С, відбувається зниження мастильних властивостей бурових розчинів, оброблених нафтою [19, 20]. Зазначені вище недоліки мають і змащувальні добавки зарубіжного виробництва, причому характерною для них є висока вартість.

Останнім часом постійно з'являються нові види реагентів та їх модифікації, які необхідно адаптувати до умов буріння свердловин у конкретних гірничо-геологічних умовах [21].

Протягом останніх років, окрім традиційних змащувальних добавок до бурових розчинів і технологічних рідин, поширення отримують змащувальні добавки на основі екологічно чистих продуктів рослинного та тваринного походження, а також побічних продуктів виробництва олій, основою яких є карбонові кислоти (кубові залишки (гудрони) олійно-жирових підприємств, фузи, фосфати, відходи виробництва риб'ячого жиру, продукти переробки деревини (талові масла) та інші продукти натурального походження) [22, 23]. Основою перевагою натуральної сировини є її екологічна чистота. Так, після потрапляння до навколишнього середовища, наприклад, олії порівняно швидко (близько 5 діб) піддаються повному розкладу [23].

Тваринні жири за хімічним складом подібні до олій, але вміст у них ненасичених кислот значно нижчий, тому вони характеризуються порівняно високою температурою плавлення.

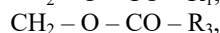
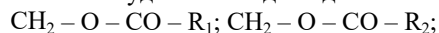
Рослинні олії являють собою поновлюваний ресурс, який може використовуватися як надійний

вихідний матеріал для отримання нових продуктів з широким спектром структурних і функціональних варіацій [23, 24].

Олія, з точки зору хімії, є складною хімічною сумішшю естерів жирних кислот і трьохатомного спирту гліцерину та різноманітних речовин не жирового характеру: фосфатидів, вітамінів, восків, ферментів, білкових речовин, ефірних олій, барвників тощо. Основою олій є жирні кислоти і гліцерин (97 – 98 %), всі інші речовини входять до їх складу в незначній кількості. Властивості олій залежать від їх жирокислотного складу. Найбільш поширеними є рідкі олії, що містять близько 80-90% ненасичених кислот [22, 24].

Жирні кислоти, що входять до складу рослинних олій, діють як поверхнево-активні речовини (ПАР); їх складні ефіри утворюють мастильну плівку на поверхні тертя; жирні спирти виступають в ролі своєрідних розчинників [25].

Загальна будова олій відповідає такій структурі:



де R – радикали жирних кислот [25].

Протягом тривалого часу рослинні олії та їхні похідні використовуються науковцями через їхню широку доступність по всьому світу та відносно низьку ціну. Дослідженнями встановлені достатньо високі трибологічні властивості рослинних олій – швидка взаємодія з металами, висока змащувальна здатність, корозійний захист, нейтральне відношення до ущільнень. До основних недоліків олій належать інтенсивне загущування при температурі нижче за мінус 15 °С (повна кристалізація – за мінус 280 °С), відносно швидке старіння під час експлуатації, а також схильність до гідролізу під впливом води. Для боротьби із зазначеними недоліками формуються завдання створення добавок з відповідними властивостями [22, 26].

Найбільшими джерелами рослинних олій є сільськогосподарські культури. Серед рослинних олій використовуються рапсова, соняшникова, кукурудзяна, соєва, пальмова (олеїн), лляна, рицинова, бавовняна, оливкова, кунжутна тощо. У багатьох країнах ведуться роботи щодо отримання на базі рослинних олій мастильних матеріалів, присадок і пластичних змащувальних добавок, найбільш інтенсивно – у США, Великій Британії, Німеччині, Австрії [22].

У багатьох регіонах України (зокрема, і в Полтаві) є олійноекстракційні заводи, продукція та відходи яких можуть бути використані як основа чи складова змащувальної добавки [27].

Аналіз існуючих змащувальних реагентів дозволяє приймати більш обґрунтовані рішення при розробленні ефективної, недефіцитної, низьковартісної змащувальної добавки до бурових розчинів.

У зв'язку з вищенаведеним, важливо розробити ефективні та малодефіцитні добавки, що дозволяють суттєво покращити мастильні властивості бурових розчинів.

Матеріали та методи дослідження. Розробка та широке впровадження ефективних й екологічно нешкідливих змащувальних добавок, що володіють корисними поліфункціональними властивостями у різних системах бурових розчинів і задовольняють вище зазначені технологічні властивості, становить один із актуальних напрямів удосконалення технології буріння свердловин.

У наявній літературі недостатньо даних щодо застосування змащувальних реагентів на основі рослинних олій для вдосконалення технологій буріння свердловин. Тому це питання потребує подальшого вивчення. Результати наукових досліджень не дозволяють зробити висновки про вплив рослинних олій на фізико-хімічні характеристики різних водоглинистих бурових розчинів (ВГБР).

Враховуючи вищезазначене, можна зробити висновок щодо необхідності розроблення змащувального реагенту на основі природної сировини.

Метою роботи є підвищення ефективності буріння похило-скерованих свердловин шляхом розробки змащувальних реагентів для водоглинистих бурових розчинів.

Відповідно до мети роботи поставлено такі завдання:

1) дослідити вплив рослинних олій на змащувальні та фізико-хімічні характеристики водоглинистих бурових розчинів (прісний, мінералізований та соленасичений розчини);

2) експериментально дослідити та розробити склади змащувальних компонентів для водоглинистих бурових розчинів.

Для проведення досліджень використані три типи водоглинистих бурових розчинів, які широко використовуються під час буріння свердловин, – прісний, мінералізований та соленасичений розчини:

- перший тип – ВГС (водоглиниста суспензія) – вода + 5% глини (бентонітовий глинопорошок);
- другий тип – ВГС+10%КСІ+1%КМЦ;
- третій тип – ВГС+10%КСІ+15%NaCl+1%КМЦ.

Під час дослідження вивчено мастильні властивості наступних природних олій: рицинова, конопляна, рапсова, соєва, гірчична, соняшникова, кукурудзяна. Концентрації олій у бурових розчинах склали від 0,5 до 3 %. Дослідження проведені у сертифікованій лабораторії бурових та тампонажних розчинів з використанням стандарту API для дослідження бурових розчинів на водній основі [27].

Для характеристики технологічних параметрів бурових розчинів використовували: густину (ρ , кг/м³), умовну в'язкість (T , с), статичні напруги зсуву,

величину фільтрації (Φ , см³/30хв), товщину фільтраційної кірки (K , мм). Коефіцієнт зсуву кірки (КТК, $\text{tg } \alpha$) вимірювали за допомогою приладу КТК-2. Реологічні властивості розчинів визначали ротаційним віскозиметром OFITE M-800. За результатами вимірів розраховували міцність гелю (Gel10/10, дПа), пластичну в'язкість (PV, сП), граничне динамічне напруження зсуву (YP, дПа) та уявну в'язкість (AV, сП) [28].

На сьогодні спеціалісти у ході тестування змащувальних добавок беруть до уваги коефіцієнт зсуву (липкості) фільтраційної кірки – це величина, що характеризує міцність фільтраційної кірки і визначається відношенням зусилля, необхідного для тангенціального зміщення кільцевого вантажу по кірці, до його ваги та коефіцієнт змащування (тертя) – це величина, що опосередковано характеризує мастильні властивості бурового розчину [29].

Коефіцієнт змащування (коефіцієнт тертя) є основним критерієм оцінювання мастильних властивостей добавок, зниження якого характеризує їхню ефективність [29]. Окрім значення коефіцієнта змащування, також враховували значення коефіцієнта зсуву (липкості) фільтраційної кірки, фільтрації (водовіддачі) розчину, рН та реологічні властивості. Густина розчину та в'язкість суттєво не змінювалися. Залежно від зниження або сталості даних параметрів можна говорити про можливість покращення мастильних властивостей розчину при додаванні до нього певної концентрації олій, поверхнево-активної речовини і піногасника.

Тестування коефіцієнта зсуву (липкості) фільтраційної кірки проводили на приладі КТК-2. Під час випробувань вимірювався коефіцієнт зсуву між сталевим вантажем і фільтраційною кіркою при зрушенні вантажу у горизонтальній площині. Тестування коефіцієнта змащування проводили з використанням тестера граничного тиску й змащувальної здатності OFI Testing Equipment (OFITE) відповідно до стандарту API. Останній відповідно до стандарту Американського нафтового інституту вимірює коефіцієнт тертя при притисканні призми до кільця з навантаженням 1,03 МПа (150 фунт/дюйм²) та частоті обертання вала 60 хв⁻¹ [30]. Із зменшенням величини коефіцієнта тертя мастильні властивості розчину збільшуються, а прихвотнебезпека бурового розчину знижується [9, 29].

Результати і обговорення досліджень. Аналіз даних проводили за показниками фільтрації (водовіддачі) бурових розчинів і вимірами коефіцієнтів змащування та коефіцієнта зсуву фільтраційної глинистої кірки, оскільки ці параметри є основними критеріями оцінювання мастильних властивостей добавок, зниження яких характеризує їхню ефективність. Необхідно відзначити, що до позитивних моментів відноситься те, що добавки навіть у

мінімальній кількості по 0,5 % до кожного зразка (гірчичної та кукурудзяної олій до прісного розчину; гірчичної, соєвої, соняшnikової олій до мінералізованого розчину; рапсової, кукурудзяної та гірчичної олій до соленасиченого розчину) сприяють зниженню показника фільтрації (водовіддача), коефіцієнта зсуву фільтраційної кірки та коефіцієнта змащування. При цьому основні параметри розчину не погіршуються.

Так, порівняно з параметрами вихідного розчину при додаванні до прісного водоглинистого розчину гірчичної олії знижується водовіддача розчину та коефіцієнт зсуву фільтраційної кірки з 14 до 13 см³/за 30 хв. і з 0,09 до 0,07 відповідно, коефіцієнт змащування складає 0,058. При додаванні кукурудзяної олії коефіцієнт змащування складає 0,042, коефіцієнт зсуву знижується з 0,08 до 0,07, а водовіддача розчину не змінюється (13 см³/за 30 хв.), що також характеризує її ефективність як змащувальної добавки.

При додаванні до мінералізованого водоглинистого розчину гірчичної олії водовіддача і коефіцієнт зсуву фільтраційної кірки знижуються з 18 до 16,5 см³/за 30 хв. і з 0,23 до 0,18 порівняно з вихідними значеннями, а коефіцієнт змащування складає 0,050. Для соняшnikової олії значення водовіддачі та коефіцієнта зсуву кірки знижуються з 19 до 15 см³/за 30 хв. і з 0,22 до 0,19 відповідно, коефіцієнт змащування складає 0,042. Для соєвої олії водовіддача не змінюється (19 см³/за 30 хв.), що також характеризує її ефективність як змащувальної добавки, коефіцієнт зсуву знижується з 0,22 до 0,21, а коефіцієнт змащування складає 0,052.

Для соленасиченого водоглинистого розчину, порівняно з параметрами вихідного розчину, при додаванні кукурудзяної олії водовіддача знижується з 19 до 18 см³/за 30 хв., коефіцієнт змащування складає 0,053, але підвищується коефіцієнт зсуву фільтраційної кірки (з 0,22 до 0,27). Підвищення коефіцієнта зсуву свідчить про прилипання металу до глинистої кірки і, як наслідок, підвищення параметрів при додаванні наступних концентрацій кукурудзяної олії. При додаванні рапсової олії значення водовіддачі та коефіцієнта зсуву кірки знижуються з 19 до 15 см³/за 30 хв. і з 0,30 до 0,24 відповідно, коефіцієнт змащування складає 0,057. При додаванні гірчичної олії водовіддача не змінюється (16 см³/за 30 хв.), що також характеризує її ефективність в якості змащувальної добавки, коефіцієнт зсуву знижується з 0,31 до 0,30, а коефіцієнт змащування складає 0,053. При додаванні олій до зразків розчинів у концентраціях від 1 до 3 % дані параметри підвищуються. При цьому збільшення їхньої концентрації призводить до значного зростання реологічних та структурно-механічних характеристик розчину.

Отримані результати дозволяють зробити наступні висновки. Додавання природних олій у концентраціях

від 1 до 3 % знижують коефіцієнт змащування і покращують мастильні властивості розчину. Щоб наочно побачити, наскільки змінюється величина коефіцієнта змащування в залежності від концентрації олії, звернемося до графіків (див. рис. 1 - 3).

Як показують результати досліджень зразків прісного ВГБР (див. рис. 1), застосування природних олій як змащувальної добавки дозволяє знизити коефіцієнт змащування і, відповідно, покращити мастильні властивості розчину при додаванні рицинової, рапсової, гірчичної, кукурудзяної, соняшnikової, конопляної олій. Найбільш ефективні концентрації олій – від 1 до 3 %. Найкращі результати, враховуючи всі основні параметри, що впливають на мастильні властивості розчину, мають рапсова та соняшnikова олії. При додаванні 1% соняшnikової олії відбувається зниження коефіцієнта змащування з 0,036 до 0,033, коефіцієнта зсуву кірки з 0,08 до 0,07, водовіддача не змінюється (14 см³/за 30 хв.), що свідчить про її ефективність як змащувальної добавки. При додаванні 3 % соняшnikової олії коефіцієнт змащування, коефіцієнт зсуву (липкості) кірки і водовіддача залишаються на рівні концентрації в 1 %, що свідчить про її ефективність як змащувальної добавки, але змінюється товщина глинистої кірки, що свідчить про ймовірну зміну вмісту твердої фази у розчині і, як наслідок, зміну пластичної в'язкості.

При додаванні рапсової олії концентрацією 1 % коефіцієнт змащування знижується з 0,067 до 0,065, коефіцієнт зсуву (липкості) кірки – з 0,11 до 0,07. При додаванні 3 % рапсової олії коефіцієнт змащування знижується з 0,067 до 0,061, коефіцієнт зсуву кірки – з 0,11 до 0,09. Водовіддача розчину суттєво не змінюється (з 12,5 до 13 см³/за 30 хв.). Рицинова, кукурудзяна, гірчична, конопляна найкраще виявила себе при додаванні до розчину в концентрації 3 %, що сприяло покращенню мастильних властивостей, але погіршувало фільтрацію та реологію.

Отже, враховуючи отримані дані, можемо зробити висновок, що найбільш ефективна концентрація соняшnikової олії – 1 %, рапсової олії – 1 і 3 %.

Результати досліджень зразків мінералізованого ВГБР (див. рис. 2) показали зниження коефіцієнта змащування при додаванні рапсової, рицинової, кукурудзяної, соєвої, соняшnikової, конопляної олій. Найбільш ефективні концентрації рапсової олії 1 і 3 %. Коефіцієнт змащування знижується від 0,063 до 0,054. При додаванні 1 % олії коефіцієнт змащування з 0,063 знижується до 0,059, знижується водовіддача з 11 до 7 см³/за 30 хв., коефіцієнт зсуву не змінюється порівняно з вихідного значення, що свідчить про її ефективність як змащувальної добавки. При додаванні 3% олії коефіцієнт змащування з 0,063 знижується до 0,054, знижується водовіддача з 11 до 8,5 см³/за 30 хв. (дещо підвищується порівняно з концентрацією олії в

1 %), коефіцієнт зсуву також не змінюється порівняно з вихідним значення.

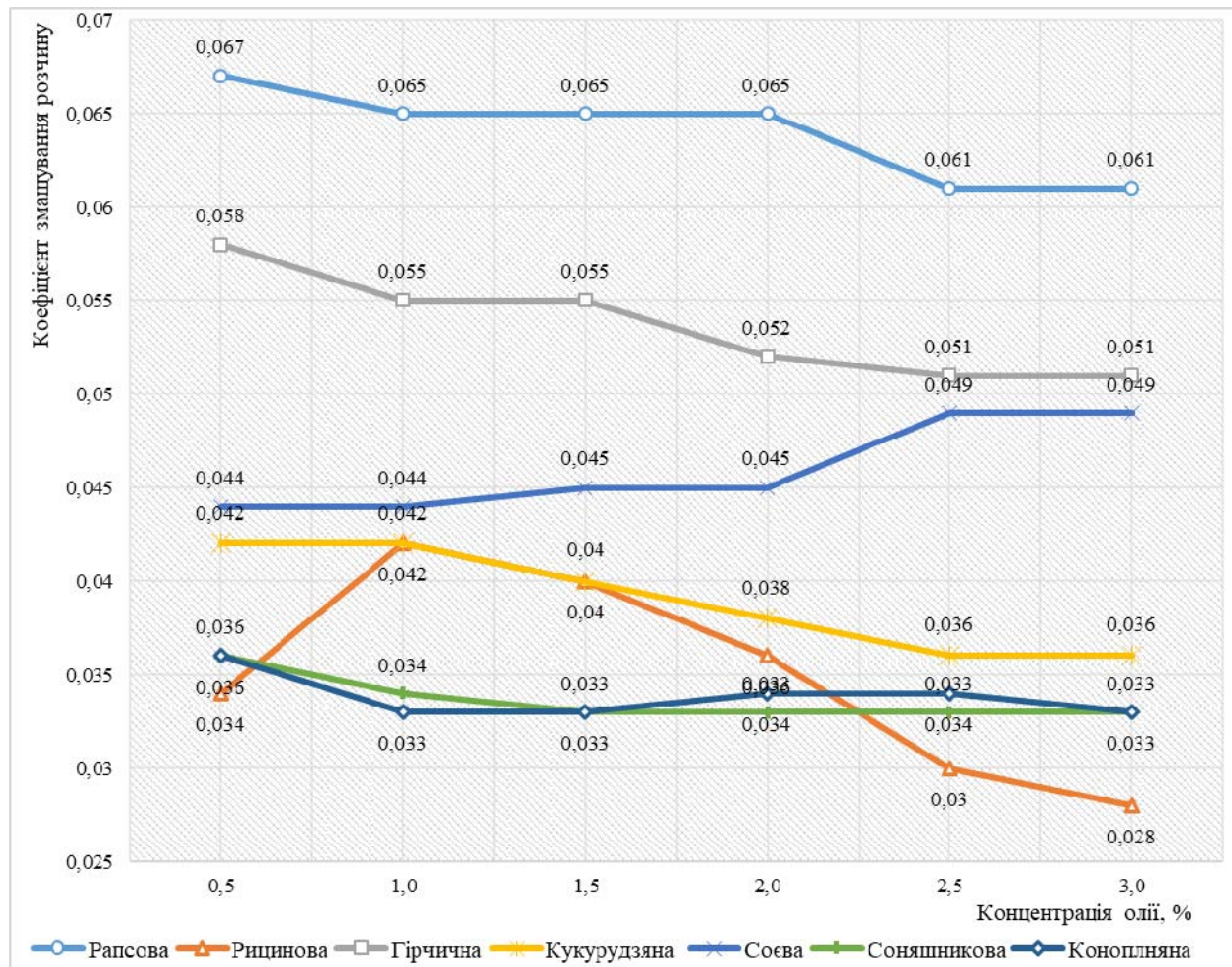


Рис. 1. Вплив природних олій у концентраціях від 0,5 до 3 % на коефіцієнт змащування при обробці зразків прісного ВГБР

Рицинова, кукурудзяна, соєва, соняшникова, конопляна найкраще виявили себе при додаванні до розчину в концентрації 3 %, що сприяло покращенню мастильних властивостей, але погіршувало фільтрацію та реологію. Додавання 3 % гірчичної олії знижує водовіддачу з 18 до 15 см³/за 30 хв. і коефіцієнт зсуву (липкості) фільтраційної кірки – 0,23 – 0,15, але збільшує коефіцієнт змащування від 0,050 до 0,067, що негативно впливає на мастильні властивості розчину. Отже, враховуючи отримані дані, найбільш ефективна концентрація рапсової олії – 3%.

З наведеного графіку для соленасиченого ВГБР (див. рис. 3) видно, що для покращення мастильних властивостей як змащувальну добавку можна використати рапсову, рицинову, гірчичну, соняшкову та соєву олії. Найбільш ефективні концентрації олії – від 1 до 3 %. При додаванні 1 % рапсової олії

знижується коефіцієнт змащування з 0,057 до 0,056, коефіцієнт зсуву фільтраційної кірки – від 0,30 до 0,23, водовіддача – від 19 до 16 см³/за 30 хв. Однак при додаванні 3 % рапсової олії коефіцієнт змащування повертається до вихідного значення – 0,057, коефіцієнт зсуву, порівняно з параметрами 1 % концентрації, підвищується до 0,25, але знижується порівняно з вихідним розчином, а водовіддача розчину зменшується до 15 см³/за 30 хв. При додаванні 3 % соєвої олії коефіцієнт змащування знижується від 0,066 до 0,051, коефіцієнт зсуву (липкості) кірки знижується від 0,24 до 0,21, але водовіддача дещо підвищується від 19 до 22 см³/за 30 хв. Добавки по 3 % рицинової, гірчичної, соняшкової олій сприяли покращенню мастильних властивостей і зниженню коефіцієнта змащування, але погіршували реологічні та структурно-механічні характеристики.

Отже, враховуючи отримані дані, найбільш ефективна концентрація рапсової олії – 1 %.

Таким чином, найбільш вдалим технологічним рішенням, враховуючи доступність та з економічної точки зору, є застосування у вигляді змащувальної добавки соняшникової та рапсової олій. Так, добавки 1 % рапсової олії до всіх типів розчинів суттєво покращують мастильні властивості, які зменшуються з 0,063 до 0,054, коефіцієнт зсуву (липкості) кірки зменшується з 0,20 до 0,13, фільтрація (водовіддача) розчину зменшується з 11 до 7 см³/30 хв, в'язкість зменшується з 27 до 24 с. При додаванні 3 % рапсової олії задовільні результати тестування отримані лише для прісного розчину. Мастильні властивості зменшуються з 0,067 до 0,061, коефіцієнт зсуву кірки зменшується з 0,11 до 0,09, водовіддача розчину не змінюється, а в'язкість дещо збільшується.

Добавки 0,5% соняшникової олії покращують мастильні властивості, які зменшуються з 0,065 до 0,042, коефіцієнт зсуву кірки зменшується з 0,23 до 0,19, фільтрація (водовіддача) розчину зменшується з

19 до 15 см³/30 хв, в'язкість зменшується з 20 до 19 с для мінералізованого ВГБР. Добавки 1 % соняшникової олії покращують мастильні властивості, які зменшуються з 0,036 до 0,033, коефіцієнт зсуву кірки зменшується з 0,08 до 0,07, а фільтрація та в'язкість не змінюються для прісного ВГБР. Добавки соняшникової олії показали задовільні результати тестувань лише для прісного і мінералізованого водоглинистих розчинів.

Отже, детальне вивчення впливу рицинової, конопляної, рапсової, соєвої, гірчичної, соняшникової та кукурудзяної олій на антифракційні та технологічні властивостей ВГБР свідчить, що введення рапсової олії забезпечує найкращі порівняно з іншими реагентами показники у всіх досліджуваних розчинах. Подальші дослідження мали на меті визначити концентрацію поверхнево-активних речовин і реагенту-піногасника, які разом з підбіраною концентрацією рапсової олії додавалися до зразків розчинів і їхній вплив на мастильні властивості розчину та коефіцієнт зсуву кірки (див. табл. 1 – 3).

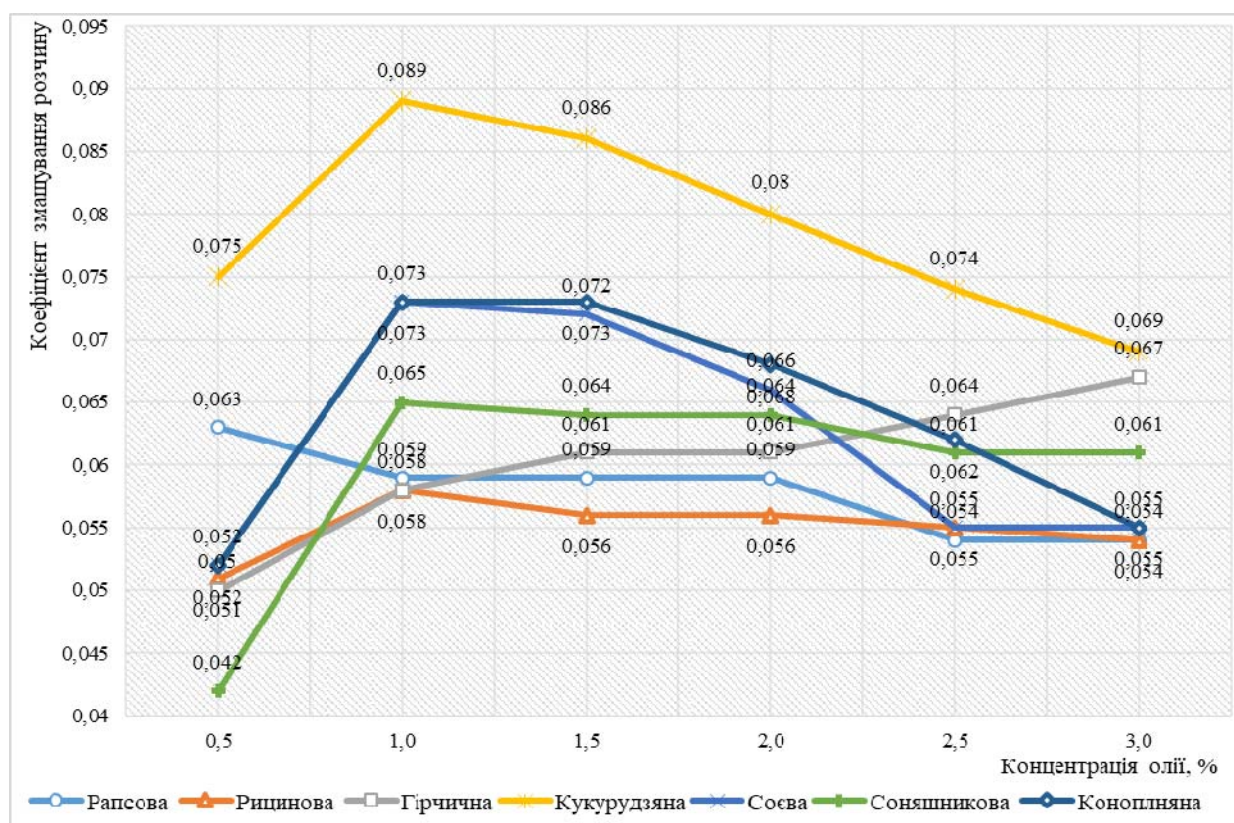


Рис. 2. Вплив природних олій у концентраціях від 0,5 до 3 % на коефіцієнт змащування при обробці зразків мінералізованого ВГБР

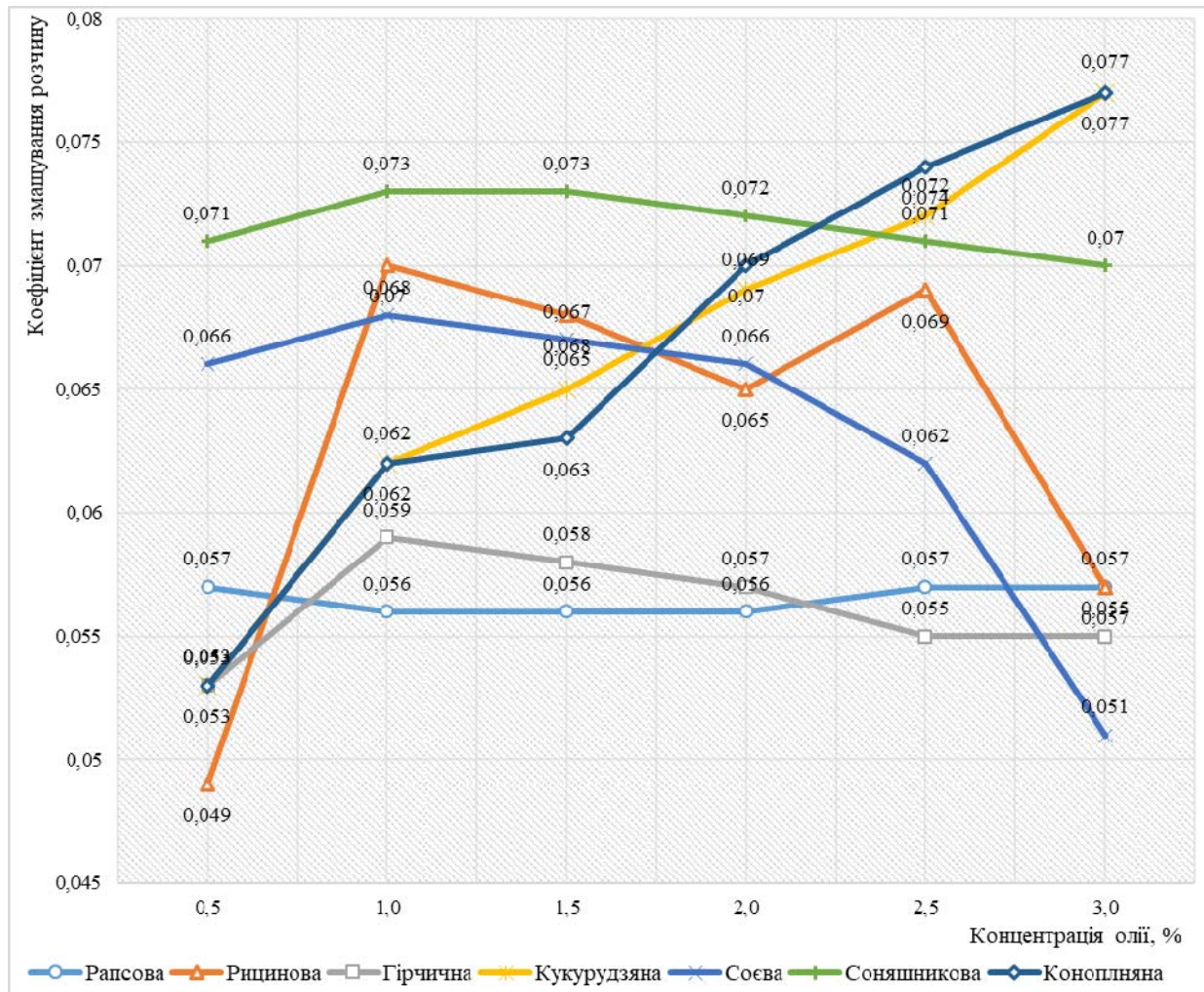


Рис. 3. Вплив природних олій у концентраціях від 0,5 до 3 % на коефіцієнт змащування при обробці зразків соленасиченого ВГБР

Таблиця 1 – Параметри прісного ВГБР з додаванням рапсової олії, ПАР-1 і піногасника

ρ, г/м ³	Т, с	рН	Φ*, см ³ /за 30хв при 20°С	Товщина глинистої кірки, мм	КТК	М-800		AV, сп	PV, сп	УР, дПа	СНЗ		Коефіцієнт змащування
						600	300				10s	10m	
0,5 % рапсової олії, 0,1 % ПАР, 0,1 % піногасника													
1020	44	9	13	1	0,07	32	25	16	7	86	24	24	0,038

0,5 % рапсової олії, 0,25 % ПАР, 0,25 % піногасника													
1020	48	9	13	1	0,06	32	25	16	7	86	24	29	0,034
0,5 % рапсової олії, 0,5 % ПАР, 0,5 % піногасника													
1020	48	9	14	1	0,07	32	25	16	7	86	24	29	0,035
1 % рапсової олії, 0,1 % ПАР, 0,1 % піногасника													
1010	48	9	15	1	0,07	38	29	19	9	96	29	29	0,038
1 % рапсової олії, 0,25 % ПАР, 0,25 % піногасника													
1010	46	9	14	1	0,07	32	25	16	7	86	24	24	0,035
1 % рапсової олії, 0,5 % ПАР, 0,5 % піногасника													
1010	46	9	15	1	0,07	32	25	16	7	86	24	24	0,035
3 % рапсової олії, 0,1 % ПАР, 0,1 % піногасника													
1010	48	9	15	1	0,07	36	30	18	6	115	120	130	0,038
3 % рапсової олії, 0,25 % ПАР, 0,25 % піногасника													
1010	34	9	14	1	0,06	29	21	15	8	62	24	24	0,030
3 % рапсової олії, 0,5 % ПАР, 0,5 % піногасника													
1010	34	9	14	1	0,07	32	25	16	7	86	24	29	0,035

Таблиця 2 – Параметри мінералізованого ВГБР з додаванням рапсової олії, ПАР-1 і піногасника

ρ , г/м ³	Т, с	рН	Ф*, см ³ /за 30хв при 20°C		Товщина глинистої кірки, мм	КТК	М-800		AV, сп	PV, сп	УР, дПа	СНЗ		Коефіцієнт змашування
			Ф7,5/Ф30				600	300				10s	10m	
0,5 % рапсової олії, 0,1 % ПАР, 0,1 % піногасника														
1080	22	8	17		0,5	0,20	18	10	9	8	10	0	0	0,07
0,5 % рапсової олії, 0,25 % ПАР, 0,25 % піногасника														
1080	20	8	11		0,5	0,16	21	10	11	11	0	0	0	0,064
0,5 % рапсової олії, 0,5 % ПАР, 0,5 % піногасника														
1080	20	8	11		0,5	0,14	21	10	11	11	0	0	0	0,063
1 % рапсової олії, 0,1 % ПАР, 0,1 % піногасника														

1080	22	8	11,5	0,5	0,18	20	9	10	11	0	0	0	0,062
1 % рапсової олії, 0,25 % ПАР, 0,25 % піногасника													
1080	20	8	11	0,5	0,18	18	9	9	9	0	0	0	0,062
1 % рапсової олії, 0,5 % ПАР, 0,5 % піногасника													
1080	20	8	11	0,5	0,18	18	9	9	9	0	0	0	0,062
3 % рапсової олії, 0,1 % ПАР, 0,1 % піногасника													
1080	24	8	11,5	0,5	0,19	20	9	10	11	0	0	0	0,054
3 % рапсової олії, 0,25 % ПАР, 0,25 % піногасника													
1080	20	8	11	0,5	0,18	18	9	9	9	0	0	0	0,054
3 % рапсової олії, 0,5 % ПАР, 0,5 % піногасника													
1080	20	8	13	0,5	0,19	18	9	9	9	0	0	0	0,054

Таблиця 3 – Параметри соленасиченого ВГБР з додаванням рапсової олії, ПАР-1 і піногасника

ρ, г/м ³	Т, с	рН	Φ*, см ³ /за 30хв при 20°С	Товщина глинистої кірки, мм	КТК	М-800		AV, сп	PV, сп	УР, дПа	СНЗ		Коефіцієнт змащування
						600	300				10s	10m	
0,5 % рапсової олії, 0,1 % ПАР, 0,1 % піногасника													
1170	20	7	15	0,5	0,21	15	7	7	8	0	0	0	0,087
0,5 % рапсової олії, 0,25 % ПАР, 0,25 % піногасника													
1170	20	7	14	0,5	0,19	15	7	7	8	0	0	0	0,087
0,5 % рапсової олії, 0,5 % ПАР, 0,5 % піногасника													
1170	20	7	15,5	0,5	0,20	15	7	7	8	0	0	0	0,087
1 % рапсової олії, 0,1 % ПАР, 0,1 % піногасника													
1170	20	7	20	1	0,21	18	8	9	10	0	0	0	0,067
1 % рапсової олії, 0,25 % ПАР, 0,25 % піногасника													
1160	20	7	28	1	0,18	15	7	7	8	0	0	0	0,082
1 % рапсової олії, 0,5 % ПАР, 0,5 % піногасника													
1160	20	7	29	1	0,18	15	7	7	8	0	0	0	0,082

3 % рапсової олії, 0,1 % ПАР, 0,1 % піногасника													
1160	20	7	22	1	0,20	15	7	7	8	0	0	0	0,082
3 % рапсової олії, 0,25 % ПАР, 0,25 % піногасника													
1160	20	7	28	1	0,19	14	7	7	7	0	0	0	0,097
3 % рапсової олії, 0,5 % ПАР, 0,5 % піногасника													
1160	20	7	28	1	0,19	14	7	7	7	0	0	0	0,097

Результати тестувань показали, що найбільш ефективною є: концентрація ПАР і реагента-піногасника – по 0,25 % кожного та змащувальної добавки у вигляді рапсової олії в концентраціях 1 і 3 % при додаванні до прісного ВГБР; 3 % рапсової олії, ПАР і реагента-піногасника по 0,1 % кожного – до мінералізованого ВГБР; 1 % рапсової олії, ПАР і реагента-піногасника по 0,1 % кожного – до соленасиченого ВГБР порівняно з параметрами вихідного розчину. Добавки 1 % рапсової олії та по 0,25 % ПАР і реагента-піногасника покращують мастильні властивості, які зменшуються з 0,065 до 0,035, коефіцієнт тертя кірки не змінюється і складає 0,07, фільтрація знижується з 15 до 14 см³ за 30 хв, а в'язкість знижується з 60 до 46 с для прісного ВГБР порівняно з параметрами вихідного розчину. Для прісного розчину добавки 3% рапсової олії та по 0,25 % ПАР і реагента-піногасника також покращують мастильні властивості, які знижуються з 0,061 до 0,030, коефіцієнт тертя кірки знижується з 0,09 до 0,06, фільтрація не змінюється, а в'язкість знижується з 66 до 34 с порівняно з параметрами вихідного розчину. Добавки 3 % рапсової олії та по 0,1% ПАР і реагента-піногасника до мінералізованого ВГБР не змінюють мастильні властивості розчину. Коефіцієнт змащування – 0,054, коефіцієнт тертя кірки – 0,18. Фільтрація та в'язкість розчину дещо змінюється. Для соленасиченого ВГБР задовільні результати були отримані при додаванні 1% рапсової олії та по 0,1 % ПАР і реагента-піногасника. Попри те, що коефіцієнт змащування змінюється з 0,056 до 0,082, коефіцієнт тертя кірки знизився з 0,23 до 0,18.

Отже, на підставі проведених лабораторних експериментів встановлено найбільш ефективні концентрації реагентів змащувальної добавки для водоглинистих бурових розчинів: рапсова олія – 1 і 3 %, ПАР – 0,1 і 0,25 %, піногасник – 0,1 і 0,25 %.

Висновки. Виходячи з вищевказаного, можна зробити такі висновки:

1. Досліджено мастильні властивості рицинової, конопляної, рапсової, соєвої, гірчиної, соняшникової та кукурудзяної олій та встановлено їхній вплив на

змащувальні та реологічні характеристики прісного, мінералізованого та соленасиченого ВГБР.

2. За результатами досліджень встановлено, що задовільні антифракційні та технологічні властивості прісного ВГБР спостерігалися при введенні рапсової та соняшникової олій в концентраціях 1 і 3 %, мінералізованого ВГБР – при введенні рапсової олії концентрацією 3 % і соленасиченого ВГБР - при введенні рапсової олії концентрацією 1 %. Технологічно доцільні концентрації олій знаходяться в діапазоні від 1 до 3 %.

3. Розроблено склад змащувальної добавки на основі рапсової олії. Експериментально обґрунтовано ефективність змащувальної добавки (рапсова олія + ПАР + піногасник) для обробки різних типів ВГБР.

Список літератури

- Dmytrenko, V.I. & Diachenko, Yu.G. (2023) Enhancing the quality of the initial discovery of carbonate gas deposits in the Zahoryanska field zone by improving the drilling mud *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2023, 1254, 012011. doi:10.1088/1755-1315/1254/1/012001.
- Dmytrenko, V.I. & al. (2022) The use of bischofite in the gas industry as an inhibitor of hydrate formation. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 1049, 012052. doi:10.1088/1755-1315/1049/1/012052.
- Kutnyi, B., Pavlenko, A., & Koshlak, H. (2020) Thermophysical-based effect of gas hydrates self-preservation. (Termofizyczny efekt samozachowawczy hydratów gazowych) *Rocz. Ochr. Srodowiska*, 22(1), 11-23.
- Магун, М.Я., Гурський, С.А., Зіньков, Р.В., Верста, О.М. (2015). Оптимізація змащувальної домішки лігносульфонатно-калієвої бурової промивальної рідини. *Науковий журнал: Нафтогазова галузь України*. №1, ст. 10.
- Mojtaba, K.M. & Koroush, T.N. (2015). A Case Study on the Successful Application of Solids Lubricants in Directional and Horizontal Drilling Operations to Reduce Torque and Drag and Improve ROP in One of the Carbonate Oil Reservoirs. *Paper presented at the SPE/LATMI Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition*. Nusa Dua, Bali, Indonesia. doi:10.2118/176473-MS.
- Husameldin, Mahmoud, Arafat, A. A., Mohammed, M., Nasser, S., Hussein, I. A. & El-Naas, Muftah. H. (2023). Green drilling fluid additives for a sustainable hole-cleaning performance. *Emergent Materials*, 9, 1-2. doi.org/10.1007/s42247-023-00524-w.
- Salikhova, O. A. & Tajieva, S. A. (2022). Obtaining and characteristics of drilling fluid. *Journal NX-A Multidisciplinary Peer Reviewed Journal*, 2581 - 4230(8), 25-27.
- Gudarzarifar, H., Sabbaghi, S., Rezvani, A. & Saboori R. (2020). Experimental investigation of rheological & filtration properties and thermal conductivity of water-based drilling fluid enhanced. *Journal Powder Technol.* 368, 323-341.

9. Xiangyang, Zhao, Daqi, Li, Heming, Zhu, Jingyuan, Mabc & Yuxiu, An. (2022). Advanced developments in environmentally friendly lubricants for water-based drilling fluid. *Published by the Royal Society of Chemistry*, 12, 3-16.
10. Mohammad, Humood, Mohammad, H. Ghamary, Pixiang, Lan, Larry, L. Iaccino, Xiaoying, Bao & Andreas, A. Polycarpou. (2019). Influence of additives on the friction and wear reduction of oil-based drilling fluid. *An International Journal on the Science and Technology of Friction, Lubrication and Wear*, 422-423, 151.
11. Beg, O.A., Espinoza, D.E., Kadir, A. & Sohail, A. (2018). Experimental study of improved rheology and lubricity of drilling fluids enhanced with nano-particles. *Journal Appl Nanosci*, 8, 1069-1090. doi.org/10.1007/s13204-018-0746-4.
12. BP: Statistical Review of World Energy. (2020). <https://nangs.org/analytics/bp-statistical-review-of-world-energy>.
13. Zhao, X., Li, D., Zhu, M., Ma, J. & An, Y. (2022). Advanced developments in environmentally friendly lubricants for water-based drilling fluid: a review. *RSC Adv*, 12(35). doi.org/10.1039/D2RA03888A.
14. Al-Hameedi & al. (2019). Insights into the application of new eco-friendly drilling fluid additive to improve the fluid properties in water-based drilling fluid systems. *Journal Pet Sci Eng*, 183, 106-424. doi.org/10.1016/j.petrol.2019.106424.
15. William, J.K.M., Gupta, P. & Sangwai, J.S. (2021). Interaction of lubricants on the rheological and filtration loss properties of water-based drilling fluids. *Journal Pet. Sci. Technol*, 39, 235-248.
16. Humood, M., Ghamary, M.H, Lan, P., Iaccino, L.L., Bao, X. & Polycarpou, A.A. (2019). Influence of additives on the friction and wear reduction of oil-based drilling fluid. *An International Journal on the Science and Technology of Friction, Lubrication and Wear*, 422-423, 151-160. doi.org/10.1016/j.wear.2019.01.028.
17. Wajhceuddin, M. & Hossain, M.E., (2018). Development of an environmentally-friendly water-based mud system using natural materials. *Arab. J. Sci. Eng*. 43(5), 2501-2513. doi.org/10.1007/s13369-017-2583-2.
18. Sai, Deng, Chao, Kang, Alireza, Bayat, Ergun, Kuru, Manley, Osbak, Kristin, Barr & Cainan, Trovato. (2020). Rheological Properties of Clay-Based Drilling Fluids and Evaluation of Their Hole-Cleaning Performances in Horizontal Directional Drilling. *J. Pipeline Syst. Eng. Pract.*, 11(3), 04020031-12. doi.org/10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000475.
19. Paulo, C.F. da Camara, Liszt, Y.C. Madruga, Nivia, do N. Marques & Rosangela, C. Balaban. (2021). Evaluation of polymer/bentonite synergy on the properties of aqueous drilling fluids for high-temperature and high-pressure oil wells. *Journal of Molecular Liquids*, 327. doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114808.
20. Sidharth, Gautam, Chandan, Guria & Vinay, K. Rajak. (2022). A state of the art review on the performance of high-pressure and high-temperature drilling fluids: Towards understanding the structure-property relationship of drilling fluid additives. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 213.
21. Roberta, K. Rodrigues, Stephanie, de F.C. Martins, Monica, F. Naccache & Paulo, R. de Souza Mendes. (2020). Rheological modifiers in drilling fluids. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 286. doi.org/10.1016/j.jnnfm.2020.104397.
22. Ines, S. Afonso, Glaucio, Nobrega, Rui, Lima, Jose, R. Gomes & Joao, E. Ribeiro. (2023). Conventional and Recent Advances of Vegetable Oils as Metalworking Fluids Lubricants. *MDPI Journal List*, 11, 160, 2-4. doi.org/10.3390/lubricants11040160.
23. Kurre, S.K. & Yadav, J.A. (2023). Review on Bio-Based Feedstock, Synthesis, and Chemical Modification to Enhance Tribological Properties of Biolubricants. *Ind. Crops Prod*, 193, 116-122.
24. Бодачівська, Л.Ю. (2022). Біорозщеплювані поверхнево-активні речовини з побічних продуктів виробництва рослинних олій у технічних системах. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 6, 3-11
25. Коцкулич, Я.С., Тершак, Б.А., Андрусак, А.М., Коцкулич, Є.Я. (2016). Малоглиниста емульсійна промивальна рідина для первинного розкриття продуктивних пластів. *Науковий журнал: Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. Вип. 1(58).
26. Bodachivska, L.Yu. (2021). Side streams from the vegetable oil production as feedstock for surfactants and their derivative technical systems. *Catal. Petrochem*, 31, 55-61.
27. Дмитренко, В.І., Дяченко, Ю.Г. (2022). Вплив рослинних олій на антифрикційні властивості бурових розчинів. «Наукова весна» 2022: матеріали XII Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. (ст.300). Дніпро: Національний технічний університет «Дніпровська політехніка».
28. Dmytrenko, V.I. & Diachenko, Yu.G. (2021). The impact assessment of plant oils on unctuosity of drilling fluids. *Technology Audit and Production Reserves*, 2/3(58), 25-30. doi:10.15587/2706-5448.2021.229652.
29. Control of drilling fluid parameters. (2009). *SOY 11.2-00135390-096:2009* (pp.100). Київ: "Ukrnafta".
30. Дмитренко, В.І., Дяченко, Ю.Г. (2020). Вплив рослинних олій на змащувальні властивості промивальних рідин. *Збірник наукових праць XIII Міжнародної науково-практичної конференції «Академічна й університетська наука: результати та перспективи»*. (ст.189). Полтава: Полтавська політехніка.

References

1. Dmytrenko, V.I. & Diachenko, Yu.G. (2023) Enhancing the quality of the initial discovery of carbonate gas deposits in the Zahoryanska field zone by improving the drilling mud *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2023, 1254, 012011. doi:10.1088/1755-1315/1254/1/012001.
2. Dmytrenko, V. I. & al. (2022) The use of bischofite in the gas industry as an inhibitor of hydrate formation. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 1049, 012052. doi:10.1088/1755-1315/1049/1/012052.
3. Kutnyi, B., Pavlenko, A., & Koshlak, H. (2020) Thermophysical-based effect of gas hydrates self-preservation. (Termofizyczny efekt samozachowawczy hydratów gazowych) *Rocz. Ochr. Srodowiska*, 22(1), 11-23.
4. Magun, M.Ya., Gurskyi, S.A., Zinkov, R.V. & Versta, O.M. (2015). Optimization of the lubricating admixture of lignosulfonate-potassium drilling fluid. *Scientific journal: Oil and gas industry of Ukraine*, 1, article number 10.
5. Mojtaba, K.M. & Koroush, T.N. (2015). A Case Study on the Successful Application of Solids Lubricants in Directional and Horizontal Drilling Operations to Reduce Torque and Drag and Improve ROP in One of the Carbonate Oil Reservoirs. *Paper presented at the SPE/LATMI Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition*. Nusa Dua, Bali, Indonesia. doi:10.2118/176473-MS.
6. Husameldin, Mahmoud, Arafat, A. A., Mohammed, M., Nasser, S., Hussein, I. A. & El-Naas, Muftah. H. (2023). Green drilling fluid additives for a sustainable hole-cleaning performance. *Emergent Materials*, 9, 1-2. doi.org/10.1007/s42247-023-00524-w.
7. Salikhova, O. A. & Tajieva, S. A. (2022). Obtaining and characteristics of drilling fluid. *Journal NX-A Multidisciplinary Peer Reviewed Journal*, 2581 – 4230(8), 25-27.
8. Gudarzifar, H., Sabbaghi, S., Rezvani, A. & Saboori R. (2020). Experimental investigation of rheological & filtration properties and thermal conductivity of water-based drilling fluid enhanced. *Journal Powder Technol*, 368, 323-341.
9. Xiangyang, Zhao, Daqi, Li, Heming, Zhu, Jingyuan, Mabc & Yuxiu, An. (2022). Advanced developments in environmentally friendly lubricants for water-based drilling fluid. *Published by the Royal Society of Chemistry*, 12, 3-16.
10. Mohammad, Humood, Mohammad, H. Ghamary, Pixiang, Lan, Larry, L. Iaccino, Xiaoying, Bao & Andreas, A. Polycarpou. (2019). Influence of additives on the friction and wear reduction of oil-based drilling fluid. *An International Journal on the Science and Technology of Friction, Lubrication and Wear*, 422–423, 151.
11. Beg, O.A., Espinoza, D.E., Kadir, A. & Sohail, A. (2018). Experimental study of improved rheology and lubricity of drilling fluids enhanced with nano-particles. *Journal Appl Nanosci*, 8, 1069-1090. doi.org/10.1007/s13204-018-0746-4.
12. BP: Statistical Review of World Energy. (2020). <https://nangs.org/analytics/bp-statistical-review-of-world-energy>.

13. Zhao, X., Li, D., Zhu, M., Ma, J. & An, Y. (2022). Advanced developments in environmentally friendly lubricants for water-based drilling fluid: a review. *RSC Adv*, 12(35). doi.org/10.1039/D2RA03888A.
14. Al-Hameedi & al. (2019). Insights into the application of new eco-friendly drilling fluid additive to improve the fluid properties in water-based drilling fluid systems. *Journal Pet Sci Eng*, 183, 106-424. doi.org/10.1016/j.petrol.2019.106424.
15. William, J.K.M., Gupta, P. & Sangwai, J.S. (2021). Interaction of lubricants on the rheological and filtration loss properties of water-based drilling fluids. *Journal Pet. Sci. Technol*, 39, 235-248.
16. Humood, M., Ghamary, M.H, Lan, P., Iaccino, L.L., Bao, X. & Polycarpou, A.A. (2019). Influence of additives on the friction and wear reduction of oil-based drilling fluid. *An International Journal on the Science and Technology of Friction, Lubrication and Wear*, 422-423, 151-160. doi.org/10.1016/j.wear.2019.01.028.
17. Wajheuddin, M. & Hossain, M.E., (2018). Development of an environmentally-friendly water-based mud system using natural materials. *Arab. J. Sci. Eng*, 43(5), 2501-2513. doi.org/10.1007/s13369-017-2583-2.
18. Sai, Deng, Chao, Kang, Alireza, Bayat, Ergun, Kuru, Manley, Osbak, Kristin, Barr & Cainan, Trovato. (2020). Rheological Properties of Clay-Based Drilling Fluids and Evaluation of Their Hole-Cleaning Performances in Horizontal Directional Drilling. *J. Pipeline Syst. Eng. Pract.*, 11(3), 04020031-12. doi.org/10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000475.
19. Paulo, C.F. da Camara, Liszt, Y.C. Madruga, Nivia, do N. Marques & Rosangela, C. Balaban. (2021). Evaluation of polymer/bentonite synergy on the properties of aqueous drilling fluids for high-temperature and high-pressure oil wells. *Journal of Molecular Liquids*, 327. doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114808.
20. Sidharth, Gautam, Chandan, Guria & Vinay, K. Rajak. (2022). A state of the art review on the performance of high-pressure and high-temperature drilling fluids: Towards understanding the structure-property relationship of drilling fluid additives. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 213.
21. Roberta, K. Rodrigues, Stephanie, de F.C. Martins, Monica, F. Naccache & Paulo, R. de Souza Mendes. (2020). Rheological modifiers in drilling fluids. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 286. doi.org/10.1016/j.jnnfm.2020.104397.
22. Ines, S. Afonso, Glauco, Nobrega, Rui, Lima, Jose, R. Gomes & Joao, E. Ribeiro. (2023). Conventional and Recent Advances of Vegetable Oils as Metalworking Fluids Lubricants. *MDPI Journal List*, 11, 160, 2-4. doi.org/10.3390/lubricants11040160.
23. Kurre, S.K. & Yadav, J.A. (2023). Review on Bio-Based Feedstock, Synthesis, and Chemical Modification to Enhance Tribological Properties of Biolubricants. *Ind. Crops Prod*, 193, 116-122.
24. Bodachivska, L.Yu. (2022). Biodegradable surface-active substances from by-products of vegetable oil production in technical systems. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 6, 3-11.
25. Kotskulych, Ya.S., Tershak, B.A., Andrusiak, A.M. & Kotskulych, E.Ya. (2016). Low-clay emulsion flushing fluid for primary opening of productive layers. *Scientific journal: Exploration and development of oil and gas deposits*, 1(58), 19-27.
26. Bodachivska, L.Yu. (2021). Side streams from the vegetable oil production as feedstock for surfactants and their derivative technical systems. *Catal. Petrochem*, 31, 55-61.
27. Diachenko, Yu.G. & Dmytrenko V.I. (2022). The effect of vegetable oils on the antifriction properties of drilling fluids. "Scientific spring" 2022: materials of the XII All-Ukrainian scientific and technical conference of students, postgraduates and young scientists (pg.300). Dnipro: National Technical University "Dniprovska Polytechnic".
28. Dmytrenko, V.I. & Diachenko, Yu.G. (2021). The impact assessment of plant oils on unctuousity of drilling fluids. *Technology Audit and Production Reserves*, 2/3(58), 25-30. doi:10.15587/2706-5448.2021.229652.
29. Control of drilling fluid parameters. (2009). *SOY 11.2-00135390-096:2009* (pp.100). Kyiv: "Ukrnafta".
30. Dmytrenko V.I. & Diachenko, Yu.G. (2020). The impact of plant oils on unctuousity of washing liquids. *Collection of scientific papers of the 13th International Scientific and Practical Conference "Academic and University Science: Results and Prospects"*. (pg.189). Poltava: Poltava Polytechnic.

Надійшла (received) 09.03.2024

Відомості про авторів / About the Authors

Дмитренко Вікторія Іванівна (Dmytrenko Viktoriia) - кандидат технічних наук, доцент Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»; м. Полтава, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1678-2575>; e-mail: dmytr.v@gmail.com

Дяченко Юлія Григорівна (Diachenko Yuliia) - викладач спеціальних дисциплін вищої категорії, аспірантка Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»; м. Полтава, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7068-4725>; e-mail: dzuliya@ukr.net