

УДК: 622.21; <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2024-3.02>
<https://orcid.org/0000-0003-4707-3322>
<https://orcid.org/0000-0003-3997-8324>
<https://orcid.org/0000-0002-3507-3096>
<https://orcid.org/0000-0003-1721-119X>
<https://orcid.org/0000-0002-1885-0367>
<https://orcid.org/0000-0001-9999-1243>

ПОДГОТОВКА СМЕСЕЙ CrV_2 И ФОРМИРОВАНИЕ БРИКЕТОВ ДЛЯ КОМПОЗИТОВ БУРОВЫХ ДОЛОТ



Б.Т. РАТОВ¹,
 доктор технических наук,
 профессор, зав. кафедрой
 «Геофизика и сейсмология»,
b.ratov@satbayev.university



А.Е. КУТТЫБАЕВ¹,
 кандидат технических наук,
 ассоц. профессор,
a.kuttybayev@satbayev.university



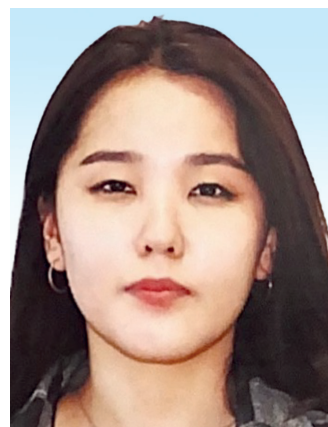
С.К. МУРАТОВА¹,
 кандидат технических наук,
 ассоц. профессор,
s.muratova@satbayev.university



М.Д. САРБОПЕЕВА²,
 PhD, ассоц. профессор,
manshuk.sarbopieeva@yu.edu.kz



А.Б. КАЛЖАНОВА²,
 докторант PhD,
kalzhanovaasemgul@gmail.com



А.А. ЖӘҢГІРХАНОВА¹,
 магистрант, инженер
a.zhanggirkhanova@satbayev.university

¹SATBAYEV UNIVERSITY,
Республика Казахстан, 050013, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22

²YESSENOV UNIVERSITY,
Республика Казахстан, 130000 г. Актау, 32 мкр

Рассматриваются передовые методы создания композиционных материалов для буровых долот, используемых в экстремальных условиях глубоких скважин. Основное внимание уделено разработке многокомпонентных смесей, которые обеспечивают равномерное распределение порошков карбида вольфрама, кобальта, диборида хрома и алмаза. Это достигается за счет тщательного подбора размера частиц и их пропорций, что критически важно для обеспечения высокой прочности и износостойкости конечных материалов.

Метод плазменно-искрового спекания (*Spark Plasma Sintering, SPS*) был выбран для производства образцов твердосплавных матриц и композиционных алмазосодержащих материалов из-за его способности обеспечивать высокую плотность и однородность материала. SPS позволяет контролировать температуру и давление в процессе спекания, что способствует формированию материалов с оптимальными физическими свойствами.

Также детально изучены конструктивные параметры алмазного долота, включая выбор размера зерен алмазного порошка и других компонентов. Эти параметры были оптимизированы для достижения максимальной эффективности бурения и увеличения срока службы инструмента. Алмазные порошки, используемые в исследовании, были получены от компании De Beers, Южная Африка и отличаются высоким качеством и однородностью.

Результаты, представленные в статье, могут оказать значительное влияние на будущее производство буровых инструментов, предлагая новые подходы к выбору материалов и методов их обработки, что в конечном итоге может привести к снижению затрат на бурение и повышению безопасности процесса. Эти инновации могут также способствовать более эффективному освоению новых месторождений, что имеет большое значение для энергетической отрасли и горнодобывающей промышленности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: долото, композит, алмаз, карбид вольфрама, кобальт, диборид хрома, матрица, состав, концентрация, температура, давление, однородность.

CrB2 ҚОСПАЛАРЫН ДАЙЫНДАУ ЖӘНЕ БҰРҒЫЛАУ БИТТЕРІНІҢ КОМПОЗИТТЕРІ ҮШІН БРИКЕТТЕРДІ ҚАЛЫПТАСТЫРУ

Б.Т. РАТОВ¹, техника ғылымдарының докторы, профессор, «Геофизика және сейсмология» кафедрасының меңгерушісі, b.ratov@satbayev.university

А.Е. ҚҰТТЫБАЕВ¹, техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, a.kuttybayev@satbayev.university

С.К. МҰРАТОВА¹, техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, s.muratova@satbayev.university

М.Д. САРБОПЕЕВА², PhD, қауымдастырылған профессор, manshuk.sarbopeyeva@yu.edu.kz

А.Б. КАЛЖАНОВА², докторант PhD, kalzanovaasemgul@gmail.com

А.А. ЖӘНГІРХАНОВА¹, магистрант, инженер, a.zhangirkhanova@satbayev.university

¹SATBAYEV UNIVERSITY,
Қазақстан Республикасы, 050013, Алматы қ., Сәтбаевк-сі, 22

²YESSENOVUNIVERSITY,
Қазақстан Республикасы, 130000 Ақтау қ., 32 ш/а.

Мақалада сипатталған зерттеу терең ұңғымалардың экстремалды жағдайында қолданылатын бұрғылау қашаулары үшін композициялық материалдарды жасаудың озық әдістерін қарастырады. Вольфрам карбиді, кобальт, хром дибориді және алмаз ұнтақтарының біркелкі таралуын қамтамасыз ететін көп компонентті қоспаларды жасауға баса назар аударылады. Бұған бөлшектердің өлшемін және олардың пропорцияларын мұқият таңдау арқылы қол жеткізіледі, бұл соңғы материалдардың жоғары беріктігі мен тозуға төзімділігін қамтамасыз ету үшін өте маңызды.

Плазмалық ұшқын агломерациясы әдісі (Spark Plasma Sintering, SPS) материалдың жоғары тығыздығы мен біркелкілігін қамтамасыз ету қабілетіне байланысты карбидті матрицалар мен композициялық алмаз материалдардың үлгілерін өндіру үшін таңдалды. SPS агломерация процесінде температура мен қысымды бақылауға мүмкіндік береді, бұл оңтайлы физикалық қасиеттері бар материалдардың пайда болуына ықпал етеді.

Мақалада алмаз тастың құрылымдық параметрлері, соның ішінде алмаз ұнтағы мен басқа компоненттердің дәндерінің мөлшерін таңдау егжей-тегжейлі қарастырылады. Бұл параметрлер бұрғылаудың максималды тиімділігіне қол жеткізу және құралдың қызмет ету мерзімін ұзарту үшін оңтайландырылды. Зерттеуде қолданылатын алмаз ұнтақтары De Beers, Оңтүстік Африкадан алынған және жоғары сапалы және біртекті.

Мақалада келтірілген нәтижелер бұрғылау құралдарын өндіруге айтарлықтай әсер етуі мүмкін, материалдарды таңдаудың жаңа тәсілдерін және оларды өңдеу әдістерін ұсынады, бұл сайып келгенде бұрғылау шығындарының төмендеуіне және процестің қауіпсіздігін арттыруға әкелуі мүмкін. Бұл инновациялар сонымен қатар энергетика және тау-кен өнеркәсібі үшін үлкен маңызға ие жаңа кен орындарын тиімдірек игеруге ықпал етуі мүмкін.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: қашау, композит, алмаз, вольфрам карбиді, кобальт, хром дибориді, матрица, құрамы, концентрациясы, температурасы, қысымы, біркелкілігі.

PREPARATION OF CrB2 MIXTURES AND FORMATION OF BRIQUETTES FOR DRILL BIT COMPOSITES

B.T. RATOV¹, doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Geophysics and seismology Department, b.ratov@satbayev.university

A.E. KUTTYBAEV¹, candidate of technical sciences, associate professor, a.kuttybayev@satbayev.university

S.K. MURATOVA¹, candidate of technical sciences, associate professor, s.muratova@satbayev.university

M.D. SARBOPEYEVA², PhD, associate professor, manshuk.sarbopeyeva@yu.edu.kz

A.B. KALZHANOVA², doctoral student PhD, kalzanovaasemgul@gmail.com

A.A. ZHANGIRKHANOVA¹, graduate student, engineer, a.zhanggirkhanova@satbayev.university

¹SATBAYEV UNIVERSITY,
Republic of Kazakhstan, 050043, Almaty, Satpayev st. 22

²YESSENOV UNIVERSITY,
Republic of Kazakhstan, 130000, Aktau, 32 md.

The research described in the article concerns advanced methods of creating composite materials for drill bits used in extreme conditions of deep wells. The main attention is paid to development of multicomponent mixtures that ensure uniform distribution of powders of tungsten carbide, cobalt, chromium diboride and diamond.

This is achieved through careful selection of particle size and proportions, which is critically important to ensure high strength and wear resistance of final materials. The Spark Plasma Sintering (SPS) method was chosen for the production of samples of carbide matrices and composite

diamond-containing materials because of its ability to provide high density and uniformity of the material. SPS allows temperature and pressure control during sintering process, which contributes to the formation of materials with optimal physical properties.

The article also discusses in detail design parameters of the diamond bit, including the choice of grain size of diamond powder and other components. These meters have been optimized to maximize drilling efficiency and extend tool life. The diamond powders used in study were obtained from De Beers, South Africa and are characterized by high quality and uniformity.

The results presented in the article can have a significant impact on future production of drilling tools, offering new approaches to choice of materials and methods of their processing, which ultimately can lead lower drilling costs and increased process safety. These innovations can also contribute to more efficient development of new fields, which is of great importance for the energy industry and the mining industry.

KEYWORDS: *chisel, composite, diamond, tungsten carbide, cobalt, chromium diboride, matrix, composition, concentration, temperature, pressure, uniformity*

Введение. Образцы твердосплавных матриц были сформированы из смесей, содержащих порошки карбида вольфрама (WC), кобальта (Co) и диборида хрома (CrB₂). Образцы композиционных алмазосодержащих материалов (КАМ) были приготовлены из смесей для твердосплавных матриц с добавлением алмазного порошка. Для создания смесей, предназначенных для формирования образцов твердосплавных матриц и КАМ методом плазменно-искрового спекания (Spark Plasma Sintering, SPS), использовались следующие порошки: алмазные порошки (CVD-алмазы, De Beers, Южная Африка) зернистостью 500/400 (средний размер зерна примерно 0,450 мкм), карбид вольфрама марки DWC (Россия) со средним размером частиц 2,0–8,0 мкм, кобальт марки ПК-1у (ГОСТ 9721–79) со средним размером частиц 2,0–3,0 мкм и диборид хрома (состав: 70,62 % Cr и 29,30 % B) со средним размером частиц 5,0–7,0 мкм (Украина). Образцы имели диаметр 10 мм и толщину 5 мм. Составы исходных смесей для спекания образцов твердосплавных матриц (образцы 1–8) и композиционных алмазосодержащих материалов (КАМ) (образцы 9–11) приведены в *таблице 1*. Порошковые смеси для спекания образцов 1–8 были приготовлены следующим образом. Для образца 1, не содержащего добавки CrB₂, порошки Co и WC в нужных пропорциях смешивались в спиртовой среде. Смеси для образцов 2–8, содержащие порошок CrB₂, готовились другим методом. Сначала порошки CrB₂ и Co в требуемых количествах (см. *таблицу 1*) смешивались в спиртовой среде до равномерного распределения компонентов. Затем к полученным смесям добавлялся порошок WC в нужных пропорциях, и смесь перемешивалась в спиртовой среде до достижения равномерного распределения всех компонентов [1–10].

Алмазосодержащие смеси для спекания образцов КАМ 9–11 с разным содержанием CrB₂ готовились следующим образом. Смесь для образца КАМ 9, не содержащая CrB₂, была приготовлена путем добавления предварительно смоченного алмазного порошка к порошковой смеси исходного твердосплавного образца (образец 1, см. *таблицу 1*) и последующего перемешивания в спиртовой среде до равномерного распределения всех компонентов.

Таблица 1 – Состав исходных смесей для спекания образцов (wt.%)

Образец	C _{алмаз}	WC	Co	CrB ₂
1	–	94	6	–
2	–	93.53	5.97	0.5
3	–	93.06	5.96	1.0
4	–	92.12	5.88	2.0
5	–	90.24	5.76	4.0
6	–	88.36	5.64	6.0
7	–	86.48	5.52	8.0
8	–	84.60	5.4	10.0
9	25	70.5	4.5	–
10	25	66.74	4.26	4.0
11	25	61.1	3.9	10.0

Алмазосодержащие смеси для образцов 10 и 11, содержащие соответственно 4 % и 10 % CrB₂, приготовили на основе смесей для образцов твердосплавных матриц 5 и 8 (см. табл. 1) аналогично смеси для образца КАМ 9.

Материалы и методы исследований. Образцы диаметром 10 мм и толщиной 5 мм были спечены методом холодного прессования при давлении 500 МПа, с последующим вакуумным горячим прессованием в интервале температур 20–1450 °С при давлении 30 МПа в течение 3 минут. Также были изготовлены шлифы для исследования структуры, а также механических и трибологических свойств спеченных образцов.

Спекание исследуемых образцов проводилось в графитовых пресс-формах методом плазменно-искрового спекания в интервале температур 20–1450 °С при давлении 30 МПа в течение 3 минут [11-15]. Параметры процесса включали электрический ток 5000 А, напряжение 5 В и скорость нагрева 500 град/мин. Спекание осуществлялось в вакууме (6 Па). Рабочие поверхности пресс-формы были смазаны нитридом бора для предотвращения взаимодействия между прессуемым материалом и графитом.

После спекания заготовки образцов шлифовали до получения цилиндров диаметром 9,62 мм и толщиной 4,84 мм. Перед проведением микроструктурных и механических исследований поверхность спеченных образцов полировали алмазной пастой с частицами размером 1 мкм и коллоидным раствором с частицами оксида кремния размером 0,04 мкм до получения зеркальной поверхности.

1. Методика приготовления многокомпонентных смесей

В работе представлена новая методика приготовления многокомпонентных смесей с равномерным распределением порошков карбида вольфрама, кобальта, диборида хрома и алмаза. Это может включать оригинальные подходы к смешиванию компонентов и достижению их равномерного распределения.

2. Использование метода плазменно-искрового спекания (SPS)

Применение метода плазменно-искрового спекания для получения образцов твердосплавных матриц и композитных алмазосодержащих материалов. Возможно,

использование SPS в данном контексте представляет собой новшество или улучшение существующих методов спекания.

3. Состав и характеристики исходных материалов

Описаны конкретные характеристики использованных порошков (CVD-алмазы, карбид вольфрама, кобальт и диборид хрома). Выбор и сочетание этих компонентов, а также их характеристик (размер зерен, состав) могут быть новыми и специфичными для достижения определенных свойств конечных материалов.

Результаты и обсуждение. Для повышения технико-экономических показателей бурения нефтяных и газовых скважин необходимо совершенствовать каждое звено технологической цепочки бурения. Одним из ключевых направлений является улучшение существующих и разработка новых конструкций породоразрушающих инструментов. Работоспособность этих инструментов в значительной степени зависит от их формы, расположения буровых вставок на профиле рабочей части долота, создания износостойких сверхтвердых композиционных алмазосодержащих материалов, а также от системы их охлаждения. Эти параметры также влияют на энергоемкость разрушения горной породы и производительность бурения.

Для изготовления долот, оснащенных пластинами PDC (поликристаллический алмазный компакт), рекомендуется использовать криволинейный асимметричный профиль с обратным конусом (рисунок 1).

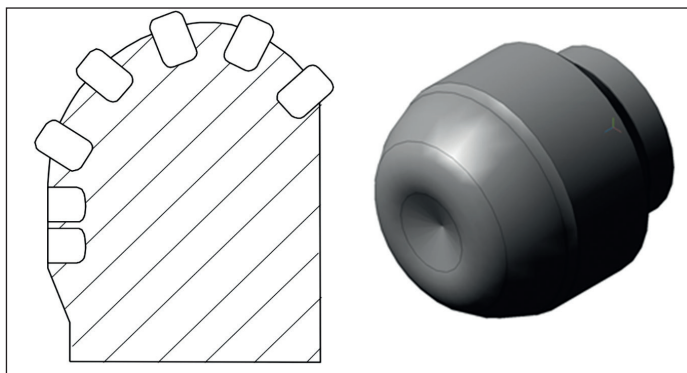


Рисунок 1 – Криволинейный асимметричный профиль долота с обратным конусом

Использование такой формы профиля позволяет в процессе бурения формировать конус из породы на дне скважины, который центрирует долото относительно оси скважины и исключает возможность значительных радиальных колебаний. Более того, удлиненная линия периферийной части долота позволяет разместить в этой области большее количество вставок, что увеличивает износостойкость долота в наиболее термонапряженной области.

Поскольку температура в зоне контакта породоразрушающих элементов с породой в процессе бурения средних пород может превышать 900°C, а при наличии абразивных пропластков может достигать 1100°C, целесообразно разместить породоразрушающие элементы из композиционных алмазосодержащих материалов на торцевой части лопастей, особенно в их затылочной области (рисунок 2).



Рисунок 2 – Долото PDC с подрезными вставками в затылочной области лопастей

Такое конструктивное решение позволяет решить сразу две задачи:

- создавать на поверхности забоя, перед пластинами PDC, зону предразрушения-систему микротрещин, которая распространяется в некотором объеме породы, снижает затраты энергии на разрушение породы пластинами PDC и повышает их работоспособность;

- распределить динамические нагрузки, которые возникают в процессе бурения, в том числе и на более прочные композиционные алмазосодержащие элементы и таким образом, уменьшить вероятность их поломки;

- снизить контактную температуру нагрева пластин PDC.

Такое конструктивное решение решает несколько задач:

- Создание на поверхности забоя перед пластинами PDC зоны предразрушения или системы микротрещин, которая распространяется в некотором объеме породы. Это снижает энергозатраты на разрушение породы пластинами PDC и повышает их эффективность.

- Распределение динамических нагрузок, возникающих в процессе бурения, в том числе и на более прочные композиционные алмазосодержащие элементы. Это помогает уменьшить вероятность их поломки.

- Снижение контактной температуры нагрева пластин PDC, что увеличивает их срок службы и общую эффективность бурения.

Применение породоразрушающих элементов, спеченных с добавками тугоплавких соединений, таких как диборид хрома, играет значительную роль в повышении работоспособности буровых долот. Эти элементы обладают улучшенными характеристиками благодаря устранению пор, раковин и трещин, что приводит к увеличению прочности и износостойкости на несколько раз.

Получение образцов и их характеристики.

Полученные образцы твердосплавных матриц и композитных алмазосодержащих материалов имеют диаметры 10 мм и толщину 5 мм. Это может быть значимо для применения в специфических инженерных и промышленных задачах.

Если в работе описаны уникальные свойства или улучшенные характеристики этих материалов (например, прочность, твердость, износостойкость), это также является частью новизны.

Конструктивные параметры алмазного долота.

Обоснование конструктивных параметров алмазного долота для бурения глубоких скважин. Это важный практический аспект, который может привести к улучшению эффективности бурения, снижению затрат и повышению долговечности буровых инструментов.


Заключение и выводы.

1. Разработана методика приготовления многокомпонентных смесей с равномерным распределением порошков карбида вольфрама, кобальта, диборида хрома и алмаза. Исследование подтвердило, что разработанная методика приготовления многокомпонентных смесей позволяет достичь равномерного распределения порошков карбида вольфрама, кобальта, диборида хрома и алмаза, что является ключевым фактором для повышения прочности и износостойкости буровых инструментов.

2. Образцы твердосплавных матриц и композиционных алмазосодержащих композитов были спечены методом плазменно-искрового спекания в интервале температур 20–1450 °С при давлении 30 МПа в течение 3 минут. После этого были изготовлены шлифованные образцы для исследования их структуры и физико-механических свойств. Применение метода плазменно-искрового спекания обеспечило получение твердосплавных матриц и композиционных алмазосодержащих композитов с высокой плотностью и однородностью, что способствует увеличению срока службы инструментов и эффективности бурения.

3. Проведено теоретическое обоснование конструктивных параметров для изготовления алмазного долота. Статья демонстрирует, как комплексный подход к созданию много-компонентных смесей и применение передовых технологий, таких как плазменно-искровое спекание, могут привести к значительным улучшениям в производстве буровых инструментов.

4. Новизна исследования заключается в разработке методики приготовления смесей, которая позволяет получить материалы с заданными свойствами, необходимыми для бурения глубоких скважин. Это открывает новые возможности для снижения затрат на бурение и повышения безопасности процессов, что имеет важное значение для энергетической отрасли и горнодобывающей промышленности.

5. Эти результаты могут быть использованы для дальнейшего развития и оптимизации буровых инструментов, а также для исследования новых материалов и технологий в других областях промышленности, где требуются высокопрочные и износостойкие материалы. 

Благодарности: Исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP14869271).

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Pat. 6617271 B1 USA. Tungsten carbide cutting tool materials / V.Y. Kodash, E. S. Gevorkian. Publ. 09.09.2003
- 2 Mechnik V.A., Bondarenko N.A., Kolodnitskiy V.M., Zakiev V.I., Zakiev I.M., Ignatovich S.R., Dub S.N., Kuzin N.O. Effect of Vacuum Hot Pressing Temperature on the Mechanical and Tribological Properties of the Fe–Cu–Ni–Sn–VN Composites // Powder Metallurgy and Metal Ceramics.– 2020. – N 58(11-12). – P. 679–691. <https://doi.org/10.1007/s11106-020-00125-w>
- 3 Borash A.R., Nurshakhanova L.K., Arshidinova M.T., Kenzhegaliyeva ZH.M., Zhanggirkhanova A.A. Improving the efficiency of PDC bits in oil and gas drilling // International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. – 2023. – <https://doi.org/10.5593/sgem2023/1.1/s06.84>
- 4 Dong G., Chen P. 3D Numerical Simulation and Experiment Validation of Dynamic Damage Characteristics of Anisotropic Shale for Percussive-Rotary Drilling with a Full-Scale PDC Bit. Energies. – 2018. – 11(6). –1326. <https://doi.org/10.3390/en11061326>
- 5 Билецкий М.Т., Ратов Б.Т., Бораш А.Р., Муратова С.К. Разработка нового устройства для осуществления имплозионного метода освоения скважин // Нефть и газ. – 2023. – 1(133). – С. 29-42. <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2023-1.03> [Bileckij M.T., Ratov B.T., Borash A.R., Muratova S.K. Razrabotka novogo ustrojstva dlya osushchestvleniya implozionnogo metoda osvoeniya skvazhin // Neft' i Gaz. – 2023. – 1(133). – S. 29-42. <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2023-1.03>]
- 6 Chernova M., Kuntsyak Y., Ratov B., Sudakov A., Nuranbayeva, B. Substantiation of the use of polymer-composite materials, which reduce the influence of dynamic friction forces of macrostructural surfaces, when drilling wells / SGEM International Multidisciplinary Scientific GeoConference EXPO Proceedings. – 2022. – <https://doi.org/10.5593/sgem2022/1.1/s03.049>
- 7 Sudakov A., Dreus A., Ratov B. Substantiation of thermomechanical technology parameters of absorbing levels isolation of the boreholes // NEWS of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. – 2020. – № 2(440). – P. 63–71. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170x.32>
- 8 Ratov B.T., Sudakov A.K., Sudakova D.A., Borash B.R. Modeling of drilling water supply wells with airlift reverse flush agent circulation // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. – 2023. – № 1. – P. 53-60. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-1/053>
- 9 Dudlia M., Pinka J., Dudlia K., Rastsvietaiev V. Sidorova, M. Influence of Dispersed Systems on Exploratory Well Drilling. Solid State Phenomena. – 2018. – 277. – P. 44–53. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.277.44>
- 10 Huang Z., Ma Y., Li Q., Xie, D. Geometry and force modeling, and mechanical properties study of polycrystalline diamond compact bit under wearing condition based on numerical analysis // Advances in Mechanical Engineering. – 2017. – 9(6), 168781401770208. <https://doi.org/10.1177/1687814017702080>
- 11 Ihnatov A.O., Haddad J., Stavychnyi Ye.M., Plytus, M.M. Development and Implementation of Innovative Approaches to Fixing Wells in Difficult Conditions // Journal of the Institution of Engineers (India): Series D. – 2022. – <https://doi.org/10.1007/s40033-022-00402-5>
- 12 Kozhevnykov A.O., Dreus A.Yu., Baochang L., Sudakov A.K. Drilling fluid circulation rate influence on the contact temperature during borehole drilling // Scientific Bulletin of National Mining University. – 2018. – N 1. – P. 35–42. <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-1/14>

- 13 Liu C., Zheng X., Wang G., Xu M., Li Z. Research on Drilling Response Characteristics of Two-Wing PDC Bit. *Sustainability*. – 2022. – N 12(1). – P. 406–406. <https://doi.org/10.3390/su12010406>
- 14 Togasheva A.R., Bayamirova R.Y., Zholbassarova A.T., Sarbopeyeva, M.D., Arshidinova M.T. Pilot field tests of shock-wave treatment of wells at the fields of JSC Ozenmunaigas // *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*. – 2023. – N 23(1.1). – 2023. – P. 719–727. <https://doi.org/10.5593/sgem2023/1.1/s06.86>
- 15 Togasheva A., Bayamirova R., Sarbopeyeva M., Bisengaliev M., Khomenko V.L. Measures to prevent and combat complications in the operation of high-viscosity oils of western Kazakhstan // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*. – 2024. – Vol. 1, n 463. – P. 257–270. <https://doi.org/10.32014/2024.2518-170X.379>