

УДК 622.24; <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2023-6.06>  
<https://orcid.org/0000-0002-7979-1188>  
<https://orcid.org/0000-0001-9891-035X>  
<https://orcid.org/0000-0003-4229-429X>

## АНАЛИЗ ПРОЯВЛЕНИЯ ТРЕЩИН В ГОРНЫХ ПОРОДАХ ПРИ ГИДРОУДАРНОМ БУРЕНИИ



**Б.С. АХЫМБАЕВА<sup>1</sup>**,  
 PhD, асоц. профессор  
 кафедры «Нефтяная  
 инженерия»,  
*b.akhymbayeva@satbayev.  
 university*



**С.З. КАБДУЛОВ<sup>2</sup>**,  
 доктор технических наук,  
 профессор кафедры  
 «Нефтегазовая инженерия»,  
*serik\_kabd@mail.ru*



**Б.К. МАУЛЕТБЕКОВА<sup>1</sup>**,  
 магистр техники и технологии,  
 докторант,  
*b.mauletbekova@satbayev.  
 university*



**А.Х. СЫЗДЫКОВ<sup>1</sup>**,  
 кандидат технических наук,  
 PhD, профессор кафедры  
 «Нефтяная инженерия»,  
*a.syzdykov@satbayev.university*



**А.Т. БАКЕШЕВА<sup>1</sup>**,  
 PhD, асоц. профессор  
 кафедры «Нефтяная  
 инженерия»,  
*a.bakesheva@satbayev.  
 university*

<sup>1</sup>«SATBAYEV UNIVERSITY»,  
Республика Казахстан, 050013, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22а

<sup>2</sup>АО «КАЗАХСТАНСКО-БРИТАНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,  
Республика Казахстан, 050000, г. Алматы, ул. Толе Би, 59

*Статья посвящена исследованию процесса образования трещин в горных породах при бурении гидродударником. Анализ проявления трещин в горных породах при гидродударном бурении является ключевым аспектом исследований, направленных на оптимизацию и эффективность данного способа бурения.*

*Статья представляет собой комплексный анализ механизмов образования трещин в горных породах под воздействием гидродударных волн, выявляя факторы, влияющие на их развитие и распространение.*

*В работе освещаются основные принципы и механизмы гидродударного бурения, а также анализируются факторы, влияющие на образование трещин в горных породах в процессе этого метода бурения. Также рассматриваются различные параметры, такие как давление воды, скорость удара, тип инструмента и характеристики породы и их влияние на формирование трещин.*

*Представлены методы численного моделирования и расчета, используемые для анализа факторов, влияющих на формирование трещин в процессе бурения скважин. Рассматриваются основные параметры, такие как глубина скважины, тип используемого бурового оборудования, физико-механические свойства породы, давление бурового раствора и другие.*

*Приводятся примеры численных расчетов и моделирования, а также оценка влияния различных факторов на образование трещин в породе.*

*Целью данной статьи является обобщение актуальной информации об образовании трещин при гидродударном способе бурения.*

*Научная значимость данного исследования заключается в возможности предсказания и контроля образования трещин при гидродударном бурении, что способствует более эффективному использованию ресурсов и повышению безопасности бурения.*

*Полученные результаты могут быть использованы в практике геолого-разведочных и горнопромышленных работ для оптимизации процессов бурения и улучшения качества добычи полезных ископаемых. Понимание процессов образования трещин в горных породах при данном методе бурения позволит оптимизировать его использование, улучшить контроль за процессом и обеспечить более эффективное и безопасное извлечение полезных ископаемых из недр земли.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** порода, твердость, бурение, вращение, трещины.

## ГИДРОСОҚҚЫЛЫ БҰРҒЫЛАУ КЕЗІНДЕ ТАУ ЖЫНЫСТАРЫНДАҒЫ ЖАРЫҚШАҚТАР КӨРІНІСІН ТАЛДАУ

**Б.С. АХЫМБАЕВА**<sup>1</sup>, PhD, «Мұнай инженериясы» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, [b.akhymbayeva@satbayev.university](mailto:b.akhymbayeva@satbayev.university)

**С.З. КАБДУЛОВ**<sup>2</sup>, т.ғ.д., «Мұнай-газ инженерия» кафедрасының профессоры, [serik\\_kabd@mail.ru](mailto:serik_kabd@mail.ru)

**Б.К. МАУЛЕТБЕКОВА**<sup>1</sup>, техника және технология магистрі, докторант, [b.mauletbekova@satbayev.university](mailto:b.mauletbekova@satbayev.university)

**А.Х. СЫЗДЫКОВ**<sup>1</sup>, техника ғылымдардың докторы, PhD докторы, «мұнай өндірісі» кафедрасының профессоры, [a.syzdykov@satbayev.university](mailto:a.syzdykov@satbayev.university)

**А.Т. БАКЕШЕВА**<sup>1</sup>, PhD, "Мұнай инженериясы" кафедрасының қауымдастырылған профессоры, [a.bakesheva@satbayev.university](mailto:a.bakesheva@satbayev.university)

<sup>1</sup>«SATBAYEV UNIVERSITY»,  
Қазақстан Республикасы, 050013, Алматы қ., К. Сәтбаев к., 22а

<sup>2</sup>«ҚАЗАҚСТАН-БРИТАН ТЕХНИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ» АҚ,  
Қазақстан Республикасы, 050000, Алматы қ., Төле Би к., 59

Мақалада гидросоққылыбұрғылау кезінде тау жыныстарындағы жарықшақтардың пайда болу процесін зерттеуге арналған. Гидросоққылы бұрғылау кезінде тау жыныстарындағы жарықшақтардың пайда болуын талдау осы бұрғылау әдісін оңтайландыруға және тиімділігіне бағытталған зерттеулердің негізгі аспектісі болып табылады. Мақалада гидросоққы толқындарының әсерінен тау жыныстарында жарықшақтардың пайда болу механизмдеріне жан-жақты талдау, олардың дамуы мен таралуына әсер ететін факторларды анықтау қарастырылған. Жұмыста гидросоққымен бұрғылаудың негізгі принциптері мен механизмдері көрсетілген, сонымен қатар осы бұрғылау әдісі кезінде тау жыныстарында жарықшақтардың пайда болуына әсер ететін факторлар талданған. Сонымен қатар, судың қысымы, соққы жылдамдығы, құрал түрі және тау жыныстарының сипаттамалары сияқты әртүрлі параметрлер және олардың жарықшақтардың пайда болуына әсері қарастырылады. Жұмыста ұңғымаларды бұрғылау кезінде жарықтардың пайда болуына әсер ететін факторларды талдау үшін қолданылатын сандық модельдеу және есептеу әдістері келтірілген. Негізгі параметрлер қарастырылады, мысалы, ұңғыманың тереңдігі, қолданылатын бұрғылау жабдығының түрі, жыныстың физикалық-механикалық қасиеттері, бұрғылау сұйықтығының қысымы және т.б. Сандық есептеулер мен модельдеу мысалдары келтірілген, сонымен қатар тау жыныстарында жарықтардың пайда болуына әртүрлі факторлардың әсерін бағалау берілген.

Бұл мақаланың мақсаты гидросоққылы бұрғылау әдісі кезінде жарықтардың пайда болуы туралы ағымдағы ақпаратты жинақтау болып табылады.

Бұл зерттеудің ғылыми маңыздылығы ресурстарды тиімдірек пайдалануға және бұрғылау қауіпсіздігін арттыруға ықпал ететін гидросоққылыбұрғылау кезінде жарықтардың пайда болуын болжау және бақылау мүмкіндігінде. Алынған нәтижелерді геологиялық барлау және тау-кен жұмыстары тәжірибесінде бұрғылау процестерін оңтайландыру және пайдалы қазбаларды өндіру сапасын арттыру үшін пайдалануға болады. Бұл бұрғылау әдісімен тау жыныстарында жарықшақтардың пайда болу процестерін түсіну оны пайдалануды оңтайландыруға, процесті бақылауды жақсартуға және жер қойнауынан пайдалы қазбаларды тиімдірек және қауіпсіз өндіруді қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

**ТҮЙІН СӨЗДЕР:** тау жынысы, қаттылық, бұрғылау, айналу, жарықтар.

## ANALYSIS OF THE MANIFESTATION OF CRACKS IN ROCKS DURING HYDRAULIC HAMMER DRILLING

**B.S. AKHYMBAYEVA**<sup>1</sup>, PhD, Associate Professor of the Department of «Petroleum Engineering», [b.akhymbayeva@satbayev.university](mailto:b.akhymbayeva@satbayev.university)

**S.Z. KABDULOV**<sup>2</sup>, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of «Oil and Gas Engineering», [serik\\_kabd@mail.ru](mailto:serik_kabd@mail.ru)

**B.K. MAULETBEKOVA**<sup>1</sup>, Master of Engineering and Technology, PhD student, [b.mauletbekova@satbayev.university](mailto:b.mauletbekova@satbayev.university)

**A.Kh. SYZDYKOV**<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, PhD, Professor of the Department of «Petroleum Engineering», [a.syzdykov@satbayev.university](mailto:a.syzdykov@satbayev.university)

**A.T. BAKESHEVA**<sup>1</sup>, PhD, associated professor, department of «Petroleum Engineering», [a.bakesheva@satbayev.university](mailto:a.bakesheva@satbayev.university)

<sup>1</sup>«SATBAYEV UNIVERSITY»,  
Republic of Kazakhstan, 050013, Almaty, Satpayev str., 22a

<sup>2</sup>JSC «KAZAKH-BRITISH TECHNICAL UNIVERSITY»,  
Republic of Kazakhstan, 050000, Almaty, 59 Tole Bi str.

*This article is devoted to the study of the process of crack formation in rocks during hydraulic hammer drilling. Analysis of the manifestation of cracks in rocks during hydraulic percussion drilling*

is a key aspect of research aimed at the optimization and efficiency of this drilling method. The article presents a comprehensive analysis of the mechanisms of crack formation in rocks under the influence of hydraulic shock waves, identifying factors influencing their development and propagation. The work highlights the basic principles and mechanisms of hydraulic percussion drilling, and also analyzes the factors influencing the formation of cracks in rocks during this drilling method. In addition, various parameters such as water pressure, impact velocity, tool type and rock characteristics are considered and their influence on fracture formation. The paper presents numerical modeling and calculation methods used to analyze the factors influencing the formation of cracks during well drilling. Basic parameters are considered, such as well depth, type of drilling equipment used, physical and mechanical properties of the rock, drilling fluid pressure and others. Examples of numerical calculations and modeling are given, as well as an assessment of the influence of various factors on the formation of cracks in rock.

The purpose of this article is to summarize current information on the formation of cracks during the hydraulic percussion drilling method.

The scientific significance of this study lies in the possibility of predicting and controlling the formation of cracks during hydraulic drilling, which contributes to more efficient use of resources and improved drilling safety. The results obtained can be used in the practice of geological exploration and mining work to optimize drilling processes and improve the quality of mineral extraction. Understanding the processes of formation of cracks in rocks with this drilling method will allow optimizing its use, improving control over the process and ensuring more efficient and safe extraction of minerals from the bowels of the earth.

**KEY WORDS:** rock, hardness, drilling, rotation, cracks.

**В**ведение. В свете современных технологий и стремительного развития индустрии добычи полезных ископаемых, использование гидроударных методов бурения приобретает все большее значение. Одним из ключевых аспектов этой техники является возможность формирования и контроля трещин в породах. В данной статье мы обратим внимание на значимость положительного образования трещин в породах при применении гидроударников в бурении.

Неотъемлемой частью процесса бурения гидроударниками является умение создавать и управлять трещинами в породе. Положительное формирование трещин открывает перед инженерами и горняками новые перспективы, позволяя оптимизировать добычу полезных ископаемых, увеличивать эффективность работы, а также снижать негативное воздействие на окружающую среду.

Этот метод не только повышает производительность процесса добычи, но также способствует снижению износа оборудования, что приводит к уменьшению затрат и повышению экономической эффективности. Кроме того, позитивное формирование трещин способствует минимизации негативного воздействия на окружающую среду, сокращая выбросы вредных веществ и улучшая экологическую устойчивость процессов добычи.

В данной статье рассматриваются основные методы и технологии, используемые для создания положительных трещин в породах при использовании гидроударников, а также их влияние на эффективность и устойчивость процессов добычи. Представлены последние инновации в этой области и рассмотрены перспективы дальнейшего развития технологий бурения с учетом формирования трещин.

Целью данной статьи является предоставление обзора актуальной информации о значимости положительного формирования трещин при использовании гидроудар-

ников, а также выявление потенциала данного подхода для оптимизации процессов бурения и содействия устойчивому развитию горнопромышленной отрасли [1,2].

**Материалы и методы исследований.** Образование трещин в породе при бурении гидроударниками происходит в результате комбинации множества физических процессов и механизмов.

Гидроударники – специализированные буровые инструменты, используемые для бурения скважин в горных породах, и они работают по принципу генерации ударных волн в жидкости, передаваемых на дно скважины.

Гидроударники создают высокочастотные ударные волны в буровой жидкости, которые передаются на дно скважины. Данные ударные волны оказывают мощное давление на стенки скважины и породу. В зоне ударных волн происходит кавитация – образование пузырей в жидкости вследствие её быстрого сжатия и расширения. При последующем коллапсе эти пузыри могут создавать дополнительные ударные волны и микровзрывы внутри породы, что способствует образованию трещин.

Внутри буровой жидкости могут находиться абразивные частицы, которые при ударах в породу могут вызывать местные напряжения и образование трещин. Буровая жидкость также может давить на стенки скважины, создавая гидравлическое давление. Данное давление может вызвать разрывание породы, особенно если порода имеет низкую прочность или является трещиноватой. Вибрации, создаваемые гидроударниками, также могут способствовать образованию трещин в породе. В результате ударов и кавитации происходит выделение тепла, что может также вызвать термический шок и образование трещин.

Общий результат бурения гидроударниками зависит от многих факторов, включая тип породы, прочность породы, характеристики буровой жидкости, гидравлическое давление и другие параметры процесса бурения.

Процесс трещинообразования при бурении включает в себя множество факторов, таких как свойства горной породы, давление, температура, скорость бурения и другие параметры. Несмотря на это, существуют определённые модели, которые могут помочь в оценке трещинообразования при бурении.

Одной из моделей для оценки трещинообразования при бурении является критерий трещинообразования по Критерию Кольда. Он описывает условия трещинообразования в горной породе в зависимости от некоторых параметров [3].

Этот критерий можно представить в виде формулы:

$$\sigma = 3K_c(\pi VEQ)^{1/3} \quad [1]$$

где:  $\sigma$  – напряжение, вызывающее трещинообразование;  $K_c$  – коэффициент Кольда, зависящий от свойств породы;  $E$  – модуль Юнга горной породы;  $Q$  – коэффициент удельной работы на разрушение породы;  $V$  – объём породы, выдавливаемой буровым раствором.

Это упрощенная модель, которая может помочь в оценке условий трещинообразования при бурении. Однако для конкретного случая нужно учитывать множество других факторов и параметров – часто используются более сложные модели и методы расчётов для оценки процесса трещинообразования при бурении.

Теория Гриффитса о распространении трещин является одной из ключевых теорий в области механики разрушения материалов. Эта теория была разработана в 1921 году английским инженером Аланом Арчибальдом Гриффитсом.



Суть теории Гриффитса заключается в том, что трещины в материалах могут возникать и распространяться из-за наличия дефектов в материале, таких как включения, микротрещины или другие неоднородности. Гриффитс предположил, что существует критическая длина трещины, при которой трещина будет продолжать распространяться в материале без дополнительного воздействия.

Основной посыл теории Гриффитса состоит в том, что в процессе распространения трещин в материале возникают напряжения концентрации в кончике трещины. Когда эти напряжения достигают критического уровня для конкретного материала, трещина начинает расти. Также теория Гриффитса учитывает влияние внешних факторов, таких как напряжения, окружающая среда и температура, на процесс распространения трещин [4,5].

Соответственно, можно сделать вывод, что с увеличением размеров трещины разность между поверхностной энергией трещины  $U$  и упругой энергией тела  $W$ , затраченной на образование трещины, не меняется.

Параметры трещины по теории Гриффитса находятся из условия  $\frac{\partial(V-W)}{\partial l} = 0$  ( $l$  – длина трещины).

Подход Гриффитса к образованию трещин называется, в связи со сказанным выше, энергетическим.

Для определения максимальной ширины трещины, т.е. ее ширины вблизи скважины, имеем выражение:

$$\omega_2^0 = \frac{4(1-\nu_2^2)\left(\frac{E_2}{E_1}\right)Pl_2}{\pi E_2} \cos\vartheta_2^0 \ln \frac{tg\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\vartheta_2^0}{2}\right)}{tg\left|\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\vartheta_2^0}{2}\right)\right|} \quad [2]$$

где:  $E$  – модуль Юнга;  $P$  – первоначальная нагрузка;  $l$  – длина трещины;  $\nu$  – коэффициент Пуассона.

В результате решения (с учетом волновой теории удара) получены усилия на внедряемом конце стержня (на контакте долото-горная порода) с учетом податливости заделки  $\beta$  (т. е. податливости горной породы внедрению в нее резцов долота). Это является отличительной чертой решения от известной задачи Бидермана В.Л., в которой конец стержня рассмотрен свободным или жестко закрепленным. Математический аппарат теории упругости позволяет анализировать такие ситуации и определять деформации и напряжения, возникающие в стержне из-за этой сосредоточенной силы.

Усилия на конце стержня  $K$ , как известно, зависят от времени этапов удара. Приведем формулы для первых двух этапов.

Первый этап удара ( $0 \leq t \leq \frac{2l}{a}$ )

$$P_{к1п} = P_{кз1} - \frac{P_{кз1}}{\exp\left(\frac{2l}{\beta EF}\right)} \quad [3]$$

$$P_{кз1} = \frac{2V}{n\delta} \exp(-mt) \sin(nt) \quad [4]$$

Второй этап удара ( $\frac{2l}{a} \leq t \leq \frac{4l}{a}$ )

$$P_{к2п} = P_{к32} - \frac{P_{к32}}{\exp(\frac{2l}{\beta EF})} \quad [5]$$

$$P_{к32} = \frac{2V}{n\delta} \left\{ \exp(-mt) \sin(nt) + \frac{2m}{n} \exp(-m\theta) \left[ \left( n\theta - \frac{m}{n} \right) \sin(n\theta) + m\theta \cos(n\theta) \right] \right\} \quad [6]$$

где: в формулах (3) и (4):  $l$  – длина стержня;  $a$  – скорость волны деформации в стороне при ударе;  $V$  – скорость груза  $M$  при ударе по стороне.

$$n = \sqrt{\frac{1}{\delta M} - \frac{a^2}{4\theta^2(EF)^2}} \quad [7]$$

где:  $M$  – масса груза;  $\delta$  – податливость ударяемого конца стержня;  $E$  – модуль упругости материала стержня;  $F$  – площадь поперечного сечения стержня;  $\frac{a}{2\delta EF}$ ;  $\theta = t \frac{2l}{a}$ .

При малой длине  $l$  ударяемого стержня нужно вычислять третий этап удара и т.д. Но при этом вычисления быстро усложняются [4,5].

**Результаты и обсуждение.** Правильное и четкое представление о механизме разрушения горных пород с помощью кольца является необходимым условием дальнейших технико-технологических разработок гидромеханического бурения.

В целом механизм разрушения горных пород при статической и динамической нагрузках отдельными шариками, находящимися в посадочных гнездах кольца, можно разделить на несколько условных стадий. Прежде всего, следует отметить, что, согласно общепринятым представлениям Геруа, распределение напряжений в случае контакта плоской поверхности со сферой, будет иметь вид отраженной кривой, показанной на *рисунке 1*.

Наибольшими они будут около центра поверхности контакта, а к периферии они будут снижаться до нуля.

Процесс трещинообразования при бурении зависит от множества факторов, включая свойства горных пород, характеристики бурового инструмента, параметры бурения и другие. Для математического расчета этого процесса можно использовать различные модели, включая модель для оценки напряжений и деформаций в породе.

Зависимость осевой нагрузки от деформации породы до двух скачков разрушения представлена ступенчатой кривой.

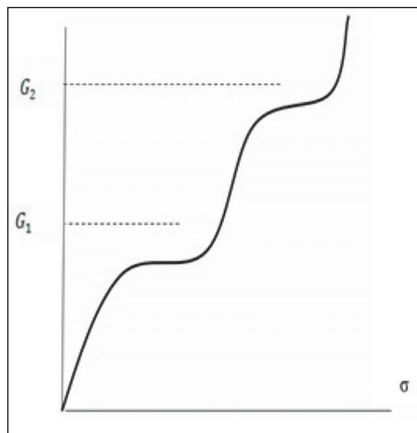


Рисунок 1 – Скачкообразное образование трещин породы под действием осевой нагрузки

Процесс образования трещин в породе при бурении гидроударником включает различные факторы, такие как давление в системе, характеристики породы и другие параметры. Однако точный математический расчёт может быть сложен из-за множества переменных.

Один из методов оценки формирования трещин в породе может быть основан на критериях механики разрушения породы. Один из таких подходов – критерий Мора-Кулона. Он используется для оценки напряжений и вероятности образования трещин [6].

Этот критерий утверждает, что порода разрушается, когда сумма нормальных напряжений достигает предела прочности породы. Это можно представить в виде уравнения:

$$\sigma_1 + \sigma_3 = 2\sigma_c \quad [8]$$

где:  $\sigma_1$  – наибольшее главное напряжение;  $\sigma_3$  – наименьшее главное напряжение;  $\sigma_c$  – коэффициент прочности породы.

Однако это уравнение является упрощением, так как реальные процессы в породе сложнее и включают также различные факторы, такие как динамические эффекты при бурении гидроударником, скорость бурения, особенности породы, влажность и т.д.

Применив математический подход к расчету длины трещин в породе при использовании гидроударника и используя уравнение Леклера-Клаузиуса, получим:

$$L = \frac{KQ}{P\sqrt{\pi}} \quad [9]$$

где:  $L$  – длина трещин;  $K$  – коэффициент крэкинга породы;  $Q$  – количество жидкости;  $P$  – давление жидкости, Па.

Коэффициент крэкинга породы ( $K$ ) может быть экспериментально определен для конкретного типа породы. Он зависит от ее характеристик и может быть различным для разных типов горных пород.

Имеющиеся значения:  $K=0.1$ ,  $Q=100$  литров (количество жидкости),  $P=10^7$  Па (давление жидкости).

Подставив данные в уравнение Леклера-Клаузиуса:

$$L = \frac{0.1 \times 100}{10^7 \times \sqrt{\pi}}$$

$$L \approx \frac{10}{10^7 \times \sqrt{\pi}} \quad [10]$$

$$L \approx \frac{100}{10^7 \times 1.77}$$

$$L \approx \frac{100}{1.77 \times 10^7}$$

$L \approx 5.65 \times 10^7$  метров или примерно 0.5650.565 микрометра [7,8]



**Заключение и выводы.** Образование трещин в породе при бурении гидроударником – ключевой аспект, оказывающий значительное влияние на эффективность и безопасность горных работ. В этой статье мы исследовали положительные аспекты образования трещин в породе при использовании гидроударника, подчеркивая их важность и применение в различных горных операциях. Результаты нашего исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Использование гидроударника способствует значительному увеличению скорости бурения, поскольку гидроударные волны создают дополнительное давление, что способствует разрушению породы. Это приводит к сокращению времени, необходимого для завершения буровых операций.

2. Благодаря более эффективному процессу бурения с использованием гидроударников, оборудование подвергается меньшему износу, что снижает затраты на его замену и обслуживание.

3. Образование трещин в породе позволяет легче извлекать полезные ископаемые, что повышает производительность горных операций. Это особенно актуально в горнодобывающей промышленности.


4. Помимо этого, гидроударник способствует более контролируемому и безопасному бурению, что снижает риск аварий и травм на рабочем месте.

5. Исследование образования трещин в породе при бурении гидроударником открывает дополнительные перспективы для исследований, связанных с улучшением технологий и методов горной промышленности.

В целом, результаты данной статьи подтверждают, что образование трещин в породе при бурении гидроударником не только положительно влияет на производительность и экономическую эффективность горных работ, но также содействует повышению безопасности и уменьшению негативного воздействия на окружающую среду.

Изучение и применение положительного образования трещин в породах при бурении гидроударником имеет значительный потенциал для улучшения процесса бурения и повышения эффективности добычи полезных ископаемых. Основываясь на проведенных исследованиях и практических наблюдениях, можно утверждать, что создание и контролируемое расширение трещин в породе способствует увеличению проницаемости и позволяет улучшить потоки жидкости и газа в скважине.

Изучение и контроль образования трещин помогают оптимизировать процессы добычи, обеспечивая эффективную и безопасную работу гидроударников. Технологии, способствующие формированию трещин в породах, открывают новые перспективы для повышения эффективности бурения и снижения износа оборудования.

Однако необходимо продолжать исследования в этой области, чтобы лучше понимать механизмы образования трещин, а также разрабатывать новые методики и технологии, способствующие улучшению процессов бурения [9]. 

*Благодарность.* Данное исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (BR21881822-«Разработка технологических решений для оптимизации геолого-технических операций при бурении скважин и добычи нефти на поздней стадии эксплуатации месторождений», 2023-2025 гг.).

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Akhymbayeva B., Employment of mud-pulse generator for improvement of efficiency of a wellbore producing in complex mining and geological conditions // Petroleum Research, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ptlrs.2023.07.004>
- 2 Akhymbayeva B., Nauryzbayeva D., Mauletbekova B., Ismailova J., Peculiarities of drilling hard rocks using hydraulic shock technology. Особливості буріння твердих порід із застосуванням гідрударної технології // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. – 2022. – № (5). – P. 20-25.
- 3 Moldabayeva G., Abileva S., Study and determination of regularities in variability of oil rheological properties to enhance oil recovery // Periodicals of Engineering and Natural Sciences. – 2021. – №9(4). – P. 44-60. <http://dx.doi.org/10.21533/pen.v9i4.2299>
- 4 Akhymbayeva B.S., Akhymbayev D.G., Nauryzbayeva, D.K., Mauletbekova, B.K., The process of crack propagation during rotary percussion drilling of hard rocks // Periodicals of Engineering and Natural Sciences. – 2021. – № 9(4). – P. 392-416.
- 5 Ismailova J.A., Delikesheva D.N., Akhymbayeva B.S., Logvinenko A., Narikov K.A., Improvement of Sweep Efficiency in a Heterogeneous // Reservoir Smart Science. – 2021. – № 9(1). – P. 51-59. <https://doi.org/10.1080/23080477.2021.1889259>
- 6 Ахымбаева Б.С. Технология бурения направленных скважин генераторами гидроимпульсного воздействия. – Алматы, 2022. – 149 с. [Akhymbaeva B.S. Tekhnologiya bureniya pravlennykh skvazhin generatorami gidroimpul'snogo vozdeistviya. – Almaty, 2022. – 149 s.]
- 7 Ахымбаева Б.С. Технология бурения разведочных скважин гидроимпульсными генераторами. – Алматы, 2022. – 98 с. [Akhymbaeva B.S. Tekhnologiya bureniya razvedochnykh skvazhin gidroimpul'snymi generatorami. – Almaty, 2022. – 98 s.]
- 8 Нескоромных В.В. Бурение наклонных, горизонтальных и многозабойных скважин. – Красноярск СФР, 2016. – 186 с. [Neskoromnykh V.V. Burenie naklonnykh, gorizonta'nykh i mnogozaбойnykh skvazhin. – Krasnoyarsk SFR, 2016. – 186 s.]
- 9 Патент №29033. Гидоударник. Латыпов А.С., Шайхымежденов Ж.Г., Кабдулов С.З., Латыпова Ю.А., Шайхымежденов А.Ж., Кабдулова Б.С., 15.10.2014 г. [Patent №29033. Gidoudarnik. Latypov A.S., Shaikhymezhdenov Zh.G., Kabdulov S.Z., Latypova Yu.A., Shaikhymezhdenov A.Zh., Kabdulova B.S., 15.10.2014 g.]