

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

ISSN 2224-5278

Volume 2, Number 440 (2020), 178 – 186

<https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.46>

UDC 622.23.05

D. T. Khojibergenov¹, B. K. Uralov¹, Ye. P. Voevodin¹, A. Abdugarimov², B. N. Absadykov³

¹M. Auezov South Kazakhstan State University, Shymkent, Kazakhstan;

²I. A. Karimov Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan;

³A. B. Bekturov Institute of Chemical Sciences, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: uralov-1973.2@mail.ru, mr.abdali@mail.ru, b_absadykov@mail.ru

FEATURES OF DRILLING PROCESS KINEMATICS

Abstract. The results of the work aimed at studying the kinematics of the drilling process to determine the drilling pattern are presented. The analysis of the principles of operation of drilling tools has been conducted. It was determined that when working on the proposed drilling tools with the drilling force evenly distributed around the cutting edge, where the bottom hole reaction leads to a pair of forces that determine the amount of torque on the drilling tool. It has been defined that the cutting tooth of a drilling tool processes the slaughtering along the trajectory of the Bernoulli lemniscate, and all teeth, in particular the cutting edges of the drilling tool, are simultaneously involved in the destruction of the rock. Based on the studies conducted, the constructive scheme of the drilling tool was adjusted to determine the geometrical parameters of the cutting edge. The application of the proposed design scheme should allow increasing the mechanical drilling rate and reducing the values of arising drilling forces.

Key words: drilling, drilling tool, destruction, impact, rock, durability, scheme, force, kinematics, cutting-splitting, rotational drilling, rotational frequencies.

Introduction. In existing drilling technologies, various drilling methods are used with appropriate drilling tools [1-4]. The drilling technology is improving and the geometry of the drilling tool is optimizing.

However, in widely used technologies, the drilling pattern is based on the mechanism of rock destruction, where the teeth of drilling tools under the impact of strong blows scrape the rock. To increase the durability of drilling tools, expensive solid alloys and diamonds [5-10] are increasingly used. Used drilling patterns do not allow full use of these materials resource strength as they are fragile and do not tolerate impact loads.

To solve this problem, a group of scientists on the project “AP0513118 Creating drilling tools for drilling wells in the extraction of solid, liquid and gaseous minerals (contract No. 164 of 03/15/2018)” are investigating a new drilling pattern [11,12].

The relevance of research. The proposed drilling pattern and the correspondingly developed geometry of the drilling tool are related to rotary drilling technologies. The geometry of the drilling tool is not complicated by manufacturability. Prototypes were made in six coordinate machines, but in mass production the teeth can be made in other cheaper ways. The essence of the drilling scheme used is that the cutting tooth has continuous contact with the drilled surface, excluding vibration during the drilling process. The drilling pattern is based on cutting the soil. Changing the geometry of the drilling tool, it appears through the kinematics of the process to change the direction and values of the drilling force. With the proper formation of the drilling pattern, it is possible to achieve the appearance of negative drilling forces that will not repel but rather draw in the drilling tool in the direction of drilling.

Objective. Studies of drilling kinematics by definition drilling pattern.

Material and research results. According to the principle of interaction on the rock we consider the drilling pattern belonging to the cutting-cleaving groups [13]. It can be seen from the diagram (figure 1) that the element of the chisel’s armament moving at a speed of V_t and the effects of P_t , P_z forces to a depth of δ cuts off (cleaves) the rock.

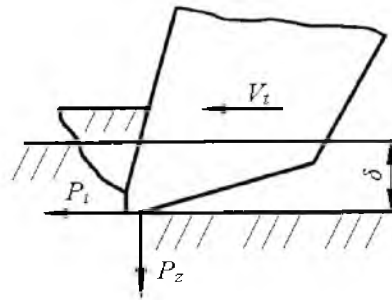


Figure 1 – Diagram of the impact of the rock-cutting tools armament elements on the rock when drilling

The dynamic process of destruction is determined by the equations of the kinetic energy T_k of the tool and the potential energy U . For this interaction pattern the condition $P_z = 0$ (resistance of the rock to the introduction of a chisel) and indentation are considered as the main effect of the elements of the rock-breaking tools on the rock considered by researchers [13].

Other researchers believe [14] that during rotary drilling the destruction of rock at the bottom of a well occur due to the movement of a tool having the shape of a cutter along a helical line (figure 2). Such a movement is the result of a combination of rotational and translational movements. Rotational motion of the tool at the bottom of the hole is carried out by applying significant torque and large axial forces to the drilling tool a. There are no impact loads.

From the diagram it can be seen that from the side of the machine a pair of forces acts on the feather of the drill cutter (figure 2): P_y is the axial force and P_z is the cutting force [14]. Together they act on the mass destructible as the resultant force P . In turn, from the side of the rock the force is affected by the force P_y which characterizes the resistance of the rock to the introduction of the tool and P_z which characterizes the resistance of the rock to cutting [14]. As the result is force acting on the side of the rock mass on the tool R . When stresses are reached in the rock to be destroyed at a critical level, a cleavage will occur in the front face of the cutting tool. Then the tool will turn at a certain angle around its axis and stretch against the newly formed ledge and the process will repeat [14].

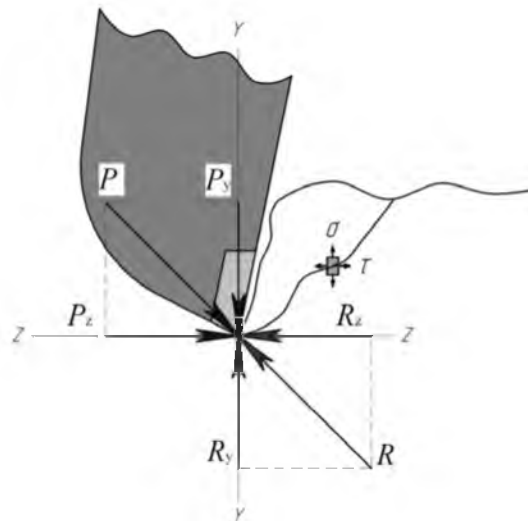


Figure 2 – Diagram of the operating forces at rotary drilling. P_y - axial force; P_z - cutting effort; P is the resultant force of the tool; R_y is rock resistance to penetration; R_z - rock cutting resistance; R is the resulting rock resistance; σ , τ - ultimate stress fracture

In the literature there are many materials on the research and application of drilling tools, but they are presented for specific cases, processing methods and geometry of drilling tools [15-21].

To study the kinematics of the drilling process, drilling tools were made of structural steel (figure 3). Experiments on drilling processes were carried out in soft and mixed soils since we needed to determine the kinematics without side effects.

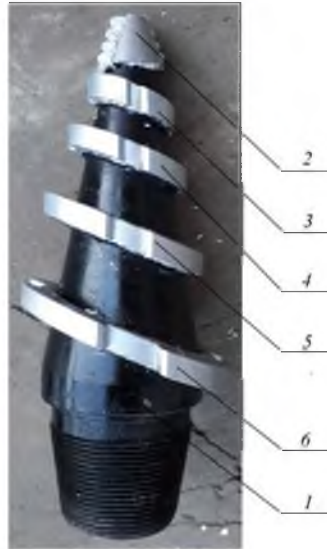
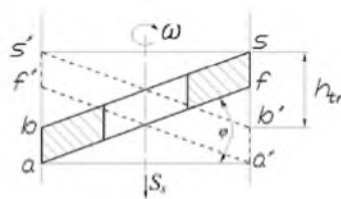


Figure 3 – Drill tool with cutting teeth of 40X structural steel. 1 - body of the drilling tool; 2 - tip equipped with carbide plates of BK8 round shape; 3,4,5,6 - cutting teeth of the boring tool

The drilling process occurs due to the rotational ω as well as the progressive action S of the drilling tool (figure 4): $S = S_s + h_{tr}$, where S_s is the stroke of the drilling tool; h_{tr} is a value of the stroke height of one tooth with one turn of the drilling tool



Picture 4 – Chart of moving of tooth of boring instrument

A tip 2 with round plates of hard alloy was designed for plunging into the ground. At the beginning of the process, cutting into the ground the tip equipped with round-shaped carbide plates from VK8 expands the hole to the diameter of the tooth 3 when bumping into a soil. Similarly, the 4, 5, 6 teeth will alternately bump into the soil. The values of the tooth inclination angle - φ was calculated to ensure a pure shear when cutting the soil. The distances between the teeth were selected in to ensure a continuous process of cutting the soil that is where the cutting of the soil ends with the first tooth the next one has time to bump into.

The conducted field tests showed that the process of bumping in and drilling occurs uniformly without jerks and jumps (figure 5).



Figure 5 – Drilling process at low speeds of the drilling tool

The cut soil volume of the initial drill hole did not have time to be removed from the drilling zone. In with connection, the holes were enlarged to the necessary appropriate dimensions in accordance with the geometrical parameters of the drilling tool.

The trajectory describing the edges of the cutting teeth a, b, s, f (figure 6, a) was investigated. When visually observed at small values of the drilling tool rotation, the points a, b, s, f during one turn describe the Cassini oval and occupy the position a', b', s', f' (figure 6, b) [22]. The kinematics of the drilling tool allows the cutting edge to move the bottom cut to the side in the direction of the drilling speed V_t tangentially to the cutting edge at that the first half of the tooth cutting edge a, a_1, a_2, a_3, a_4 and the second half of the tooth cutting edge a_4, a_5, a_6, a_7, a will form a resultant pair of forces. With an increase in the frequency of rotation of the drilling tool ω the drilling force will probably decrease. The reason for this is the reduced volume of the cut soil layer.

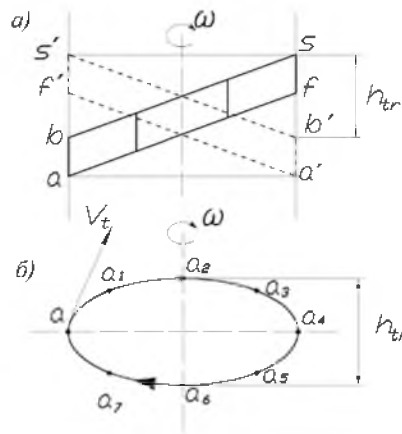


Figure 6 – Diagram for determining the trajectory of a cutting tooth of drilling tool at low turns

With an increase in the frequency of rotation of the boring tool ω the trajectory of visual observation takes a different form (figure 7). It is assumed (figure 8) that in large values of the drilling tool rotation the points a, b, s, f during the half-turn describe the trajectory of the lemniscate and occupy the position a', b', s', f' (figure 8, b). The explanation for this is that in the particular case of the Cassini oval at a certain focal length is the trajectory of the Bernoulli lemniscate [23]. For large values of the rotational speed of the drilling tool, a part of the cutting edge of the tooth will act from below upwards a, a_1, a_2, a_5, a_4 and will make a half turn moving the trajectory of the sinusoid when the second part of the cutting edge of a tooth is a_4, a_3, a_6, a_7, a, a will also move the trajectory of the sinusoid and close the lemniscate circle (figure 8, b). Divided into four parts in kinematics, cutting edge 1 part: a, a_1, a_2 ; Part 2: a_2, a_5, a_4 ; Part 3: a_4, a_3, a_6 ; Part 4: a_6, a_7, a should significantly reduce the drilling force.



Figure 7 – Drilling process at high speeds of the drilling tool

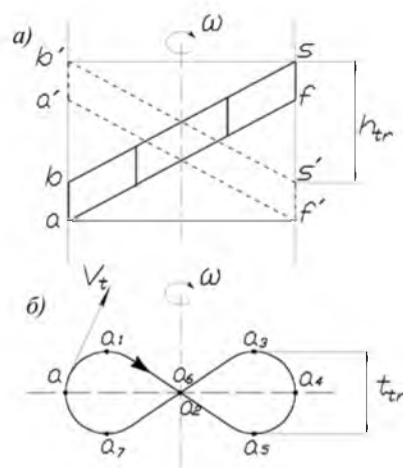


Figure 8 – Diagram for determining the trajectory of the cutting tooth of a drilling tool at high speeds

Discussion of the drilling process with the use of the proposed drilling tool. As a result of the field test data analysis the following recommendations were made to clarify:

Among drilling tools, screw or spiral drills [24-27] differ in cutting capacity and maneuverability. But the design of these drilling tools creates an accumulation of cut soil on the surface of the cutting blades or spirals. At high penetration rates, a process of jamming a drilling tool is created since the drilling fluid does not have time to raise the cut soil upwards.

In the proposed design, the drilling tool cuts the soil in portions, raises it upwards facilitating the removal of the cut soil from the drilling zone. The more turns of the drilling tool, the less the volume of the soil is cut off which increases the penetration of the drilling process.

Having studied the kinematics in the drilling tools made of structural steel which has convinced of the correctness of the drilling tool work it becomes possible to switch to the drilling of harder rocks. At the same time, as a cutting tooth for mixed soils we choose high-speed steel and carbide hard alloys for hard rocks.

Such studies will be sent to study the geometry of the cutting tooth, clarify the values of the working angles of the drilling tool, the front angle γ , the rear angle α , the wedge angle β , and the angle of inclination of the cutting tooth ω .

Conclusions. At this stage of research, summarizing the results, we draw the following conclusions:

1. It has been established that the proposed drilling tool and drilling pattern refers to the method of rotary drilling (figures 5,7).
2. It is determined that the drilling process is carried out by cutting and smoothly displacing the soil with the front surface of the cutting edge of the tooth of the drilling tool.
3. According to the proposed kinematics of the drilling pattern, the continuity of the trajectory of the cutting edge of the drill tool is provided (figure 8).
4. It has been established that the proposed kinematics of the drilling pattern significantly reduces the deviations of rotation from the axis of the drilling tool (figure 8).
5. It is assumed that the continuity of the contact of the cutting edges and the simultaneous participation of the teeth in the drilling process should reduce the drilling forces, as well as significantly reduce the vibration.
6. It is recommended to use the proposed technology of drilling and drilling tool teeth, which are made of high-speed steels in drilling wells for soft and mixed rocks. In this case, according to the proposed drilling scheme, the drilling tool is connected to standard drill pipes with transition sleeves.

Manufactured drilling tools for determining the kinematics of the drilling process have successfully passed field tests, and on the basis of the results obtained, it becomes possible to pass research by drilling for hard rocks.

Д. Т. Ходжибергенов¹, Б. К. Уралов¹, Е. П. Воеводин¹, А. Абдукаримов², Б. Н. Абсадыков³

¹М. Өуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті, Шымкент, Қазақстан;

²М. Улугбек атындағы Өзбекстан Ұлттық университеті, Ташкент, Өзбекстан;

³Ө. Б. Бектұров атындағы Химия ғылымдары институты, Алматы, Қазақстан

БҰРҒЫЛАУ ПРОЦЕСІ КИНЕМАТИКАСЫНЫҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Аннотация. Жұмыста бұрғылау схемасын анықтау бойынша бұрғылау процесінің кинематикасын зерттеуге бағытталған нәтижелер берілген. Бұрғылау құралдарының жұмыс принциптеріне талдау жүргізілген. Жүргізілген зерттеулер негізінде кесу жиегінің геометриялық параметрлерін анықтау үшін бұрғылау құралының конструктивтік схемасы түзетілген. Ұсынылған конструктивтік схеманы қолдану бұрғылаудың механикалық жылдамдығын арттыруға және ұңғымаларды бұрғылаудың пайда болатын күштерінің мәнін төмендетуге мүмкіндік береді.

Қазіргі бұрғылау технологияларында тиісті бұрғылау құралдарымен бұрғылаудың әртүрлі әдістері қолданылады. Бұрғылау технологиясы жетілдірілуде, бұрғылау құралының геометриясы оңтайландырылуда. Алайда, кең қолданылатын технологияларда бұрғылау схемасы тау жыныстарының қирау механизміне негізделеді, онда бұрғылау құралдары тістерінің қатты соққыларының әсерінен тау жыныстарын ұсқынсыз қырады. Бұрғылау құралдарының беріктігін арттыру үшін қымбат тұратын қатты қорытпалар және алмаздар қолданылады. Бұрғылаудың қолданылатын схемалары осы материалдардың беріктілік ресурстарын толық пайдалануға мүмкіндік бермейді, өйткені олар өте нәзік болып келеді және соққы жүктемесін шығармайды.

Ұсынылған бұрғылау схемасы және бұрғылау құралының әзірленген геометриясы айналмалы бұрғылау технологияларына жатады. Бұрғылау құралының геометриясы дайындау технологиясы бойынша аса күрделі емес. Тәжірибелі үлгілер алты координаттық станокта жасалған, бірақ тістің сериялық өндірісінде басқа да неғұрлым арзан тәсілдермен дайындауға да болады. Қолданылатын бұрғылау схемасының мәні - кескіш тістің, бұрғылау бетімен үздіксіз байланыс жасай отырып, бұрғылау процесінде дірілді болдырмайды. Бұрғылау схемасы бұрғылау құралының геометриясын өзгерте отырып, топырақты кескілеуге негізделген, үрдістің кинематикасы арқылы бұрғылау күшінің бағыты мен мәнін өзгерту мүмкіндігі пайда болады. Бұрғылау сызбасын дұрыс қалыптастырған кезде оларды итермейтін бұрғылаудың теріс күштерінің пайда болуына қол жеткізуге болады, ал керісінше бұрғылау бағыты бойынша бұрғылау құралын созатын болады.

Басқа зерттеушілер айналмалы бұрғылау кезінде ұңғыманың кенжарында жыныстың бұзылуы кескіш формасы бар құралдың бұрамалы сызықпен қозғалуының арқасында болады деп есептейді. Мұндай қозғалыс айналмалы және үдемелі қозғалыстардың нәтижесі болып табылады. Теспенің кенжарында құралдың айналмалы-үдемелі қозғалысы бұрғылау құралына айтарлықтай айналдыру сәті мен үлкен осьтік күш жұмсау есебінен жүзеге асырылады. Бұл ретте соққы жүктемелері орын алмайды.

Әдебиетте бұрғылау құралдарын зерттеу және қолдану бойынша көптеген материалдар бар, алайда олар нақты жағдайлар мен өңдеу тәсілдері үшін ұсынылған. Бұрғылау процесінің кинематикасын зерттеу үшін конструкциялық болаттан жасалған бұрғылау құралдары дайындалды. Өрістік сынақтар BZC 600A өздігінен жүретін бұрғылау агрегатында жүзеге асырылды. Бұрғылау құралы Ø 190,5 мм өтпелі төлкесі бар бұрғылау құбырларына қосылды. Бұрғылау процестері бойынша эксперименттер жұмсақ және аралас топырақтарда жүргізілді, себебі жанама әсерсіз кинематиканы анықтау қажет болған. Өткізілген өрістік сынақтар кесу және бұрғылау процесі бірқалыпты, жұлқыпсыз және өзгеріссіз жүретінін көрсетті. Бұрғылау станогының бастапқы тесігі бұрғылау аймағынан кесілген топырақ көлемін шығаруға үлгермеді. Осыған байланысты тесігі бұрғылау құралының геометриялық параметрлеріне сәйкес қажет тиісті өлшемдерге дейін ұлғайған.

Өріс сынақтарының алынған деректерін талдау нәтижесінде нақтылау үшін келесідей ұсынымдар жүйеленген: Бұрғылау құралдарының арасында ойып алуы және өтімділігі жағынан шнекті немесе спираль тәрізді бұрғылары ерекшеленеді, бірақ осы бұрғылау құралдарының конструкциясы кесетін қалақтардың немесе спиральдың бетінде кесілген топырақты жинайды. Үңгілеу жылдамдығы жоғары болған кезде бұрғылау құралын сындыру процесі құрылады, өйткені бұрғылау ерітіндісі кесілетін топырақты жоғары көтере алмайды. Ұсынылып отырған конструкцияда бұрғылау құралы топырақты порциялармен кесін, бұрғылау аймағынан қиылған топырақтың ағуын жеңілдетіп, оны жоғары көтереді. Бұрғылау құралының айналымы неғұрлым көп болған сайын, бұрғылау процесінің өтуін арттыратын топырақ көлемі соғұрлым аз

кесіледі.

Конструкциялық болаттан жасалған бұрғылау құралдарының кинематикасын зерттей отырып, бұрғылау құралының дұрыс жұмыс істеуіне көз жеткізген қатты тау жыныстарын бұрғылау мүмкіндігі пайда болады. Бұл ретте кескіш тістің материалы ретінде аралас топырақтар үшін тез кесетін болатты, ал қатты жыныстар үшін екі карбидті қатты қорытпалары таңдалған.

Түйін сөздер: бұрғылау, бұрғылау құралы, қирау, сокқы, тау жынысы, беріктік, схема, күш, кинематика, кесу-бөлу, айналмалы бұрғылау, айналу жылдамдығы.

Д. Т. Ходжибергенов¹, Б. К. Уралов¹, Е. П. Воеводин¹, А. Абдукаримов², Б. Н. Абсадықов³

¹Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан;

²Ташкентский государственный технический университет им. И. А. Каримова, Ташкент, Узбекистан;

³Институт химических наук им. А.Б. Бектурова, Алматы, Казахстан

ОСОБЕННОСТИ КИНЕМАТИКИ ПРОЦЕССА БУРЕНИЯ

Аннотация. В работе представлены результаты, направленные на исследования кинематики бурильного процесса по определению схемы бурения. Проведен анализ принципов работы бурильных инструментов. На основе проведенных исследований была скорректирована конструктивная схема бурильного инструмента для определения геометрических параметров режущей кромки. Применение предложенной конструктивной схемы должна позволит повысить механическую скорость бурения и снизить значения возникающих сил бурения скважин.

В существующих технологиях бурения используются различные методы бурения с соответствующими бурильными инструментами. Совершенствуются технологии бурения, оптимизируется геометрия бурильного инструмента. Однако в широко применяемых технологиях схема бурения основывается на механизме разрушения пород, где зубы бурильных инструментов под воздействием сильных ударов скоблят горную породу. Для повышения стойкости бурильных инструментов все больше используются дорогостоящие твердые сплавы, алмазы. Применяемые схемы бурения не позволяют полностью использовать прочностные ресурсы этих материалов, так как они являются хрупкими и не выносят ударные нагрузки.

Предлагаемая схема бурения и соответственно разработанная геометрия бурильного инструмента относится к технологиям вращательного бурения. Геометрия бурильного инструмента несложная по технологичности изготовления. Опытные образцы изготавливались на шести координатных станках, но в серийном производстве зубья можно изготавливать другими, более дешевыми способами. Суть применяемой схемы бурения в том, что режущий зуб, имея непрерывный контакт с буримой поверхностью, исключает вибрацию в процессе бурения. Схема бурения основана на срезании грунта, изменяя геометрию бурильного инструмента, появляется возможность через кинематику процесса изменить направления и значения силы бурения. При правильном формировании схемы бурения можно добиться появления отрицательных сил бурения, которые не будут отталкивать, а, наоборот, втягивать бурильный инструмент по направлению бурения.

Другие исследователи считают, что при вращательном бурении разрушение породы на забое скважины происходит благодаря движению инструмента, имеющего форму резца, по винтовой линии. Такое движение является результатом сочетания вращательного и поступательного движений. Вращательно-поступательное движение инструмента на забое шпура осуществляется за счет приложения к буровому инструменту значительного крутящего момента и больших осевых усилий. Ударные нагрузки при этом отсутствуют.

В литературе имеется множество материалов по исследованию и применению бурильных инструментов, однако они представлены для конкретных случаев и способов обработки. Для исследования кинематики процесса бурения изготавливались бурильные инструменты из конструкционной стали. Полевые испытания осуществлялись на самоходном буровом агрегате ВЗС 600А. Бурильный инструмент соединялся к бурильным трубам с переходной втулкой Ø 190,5 мм. Эксперименты по бурильным процессам проводились в мягких и смешанных грунтах, так как нам необходимо было определить кинематику без побочных действий. Проведенные полевые испытания показали, что процесс врезания и бурения происходит

равномерно, без рывков и скачков. Первоначальное отверстие бурового станка не успевало вывести из зоны бурения срезанный объем грунта. В связи с чем отверстие увеличивалось до необходимых соответствующих размеров в соответствии с геометрическими параметрами бурильного инструмента. В результате анализа полученных данных полевых испытаний сформированы следующие рекомендации для уточнения: среди бурильных инструментов врезаемостью и проходимостью отличаются шнековые или спиральные буры, но конструкция этих бурильных инструментов создает накопление срезанного грунта на поверхности режущих лопастей или спирали. При больших скоростях проходки создается процесс заклинивания бурильного инструмента, так как буровой раствор не успеет поднять наверх срезаемый грунт. В предлагаемой конструкции бурильный инструмент, срезая грунт порциями, поднимает ее наверх, облегчая увод срезанного грунта из зоны бурения. Чем больше оборотов бурильного инструмента, тем меньше срезается объем грунта, который повышает проходку бурильного процесса. Изучив кинематику бурильных инструментов, изготовленных из конструкционной стали, убедились в правильности работы бурильного инструмента, появляется возможность бурения более твердых пород. При этом в качестве материала режущего зуба выбираем для смешанных грунтов быстрорежущую сталь, а для твердых пород – двухкарбидные твердые сплавы.

Ключевые слова: бурение, буровой инструмент, разрушение, удар, порода, прочность, схема, сила, кинематика, резка-раскалывание, вращательное бурение, частоты вращения.

Information about authors:

Khojibergenov Davlatbek Turganbekovich, Doctor of Technical Sciences, Director of Science and Production Department, M. Auezov South Kazakhstan State University, Shymkent city, Kazakhstan; had_ji@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0039-9931>

Uralov Baidulla Kidirbayevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, M. Auezov South Kazakhstan State University, Shymkent city, Kazakhstan; uralov-1973.2@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5056-3336>

Absadykov Bakhyt Narikbayevich, Doctor of Technical Sciences, Deputy general Director, A. B. Bekturov Institute of Chemical Sciences, Almaty, Kazakhstan; b_absadykov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7829-0958>

Voevodin Yevgenii Petrovich, Senior lecturer, M. Auezov South Kazakhstan State University, Shymkent city, Kazakhstan; voevodin46@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8863-3253>

Abdukarimov Abdaly, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, I. A. Karimov Tashkent State Technical University, Tashkent city, Uzbekistan; mr.abdali@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7635-4321>

REFERENCES

- [1] <https://www.rocktechnology.sandvik/globalassets/products/rock-tools>. Rotary drilling bits and drill string tools.
- [2] <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12182-019-0318-6>. The rock breaking and ROP increase mechanisms for single-tooth torsional impact cutting using DEM.
- [3] <https://www.researchgate.net/publication/318147909>. Structural drilling using the high-frequency (sonic) rotary method.
- [4] <https://www.researchgate.net/publication/283427119>. Rotary - percussion drilling method – historical review and current possibilities of application.
- [5] https://www.metotech.ru/art_tvsplyvy_2.htm. *Tverdyye splavy i ikh primeneniye dlya burovogo i gornogo oborudovaniya* [Hard alloys and their application for drilling and mining equipment]
- [6] <https://studref.com/608693/geografiya/>. *Burovyye instrumenty s reztsami iz tverdykh materialov s polikristallicheskimy almazami* [Drilling tools with cutting edges made of hard materials with polycrystalline diamond]
- [7] <http://www.drillings.ru/izgzubdol>. *Tverdyye splavy dlya izgotovleniya zubkov dolot* [Hard alloys for making teeth bits].
- [8] <https://link.springer.com/article/10.3103%2FS0967091217010041>. Manufacture of drill bits from new diamond materials at high pressures and temperatures.
- [9] Scott D., Stockeydr D., and Digiovanni A., Engineered geometries for PDC cutters extends the life and performance of PDC drill bits, *Finer Points*, 2015. N 1. P. 19–20.
- [10] García-Marro F., Mestra A., Kanyanta V., Maweja K., Ozbayraktar S., and Llanes L., Contact damage and residual

strength in polycrystalline diamond (PCD), *Diamond Relat. Mater.*, 2016. Vol. 65. P. 131–136.

[11] Khojibergenov D.T., Yanyushkin A.S., Ibragimova Z.A., Khozhibergenova U.D., Sherov K.T., Absadykov B.N. Drilling tool with negative drilling force value // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences*. 2019. N 1. P. 169–175. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.21>

[12] Khodzhibergenov D.T., Sherov K.T., Yesirkepov A. *Sposob bureniya i konstruktsiya kombinirovannogo bura sverlofreza* [The method of drilling and the design of the combined drill-mill]. *Bulletin of engineering*. 2019. No. 5. – P. 58-60.

[13] Spivak A.I., Popov A.N., Akbulatov T.O. and others. *Tekhnologiya bureniya neftyanykh i gazovykh skvazhin* [Technology of drilling oil and gas wells]. M.: LLP “Nedra-Biznestzentr”, 2003. 509 p.

[14] Grinko D.A. *Metod rascheta i podderzhaniya ratsional'nykh rezhimnykh parametrov buril'noy mashiny mekhatronnogo klassa* [The method of calculating and maintaining rational operational parameters of the boring machine of mechatronic class]. *Dis. Cand. Tech. Science, Novocherkassk*, 2015. 158 p.

[15] <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.250.110>. Li X., Zhang Q., Li J., Zhao J. A numerical study of rock scratch tests using the particle-based numerical manifold method. *Tunn Undergr Space Technol.* 2018; 78: 106–14. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2018.04.029>.

[16] Li Y., Peng J., Zhang F., Qiu Z. Cracking behavior and mechanism of sandstone containing a pre-cut hole under combined static and dynamic loading. *Eng Geol.* 2016; 213: 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.engge.2016.08.006>.

[17] Sapińska-Śliwa A., Wiśniowski R., Korzec M., Gajdosz A., Śliwa T. Rotary-percussion drilling method–historical review and current possibilities of application. *AGH Drill.* 2015; 32 (2): 313–22. <https://doi.org/10.7494/drill.2015.32.2.313>.

[18] Yang G., Cai Z., Zhang X., Fu D. An experimental investigation on the damage of granite under uniaxial tension by using a digital image correlation method. *Opt Lasers Eng.* 2015; 73: 46–52. <https://doi.org/10.1016/j.optla.2015.04.004>.

[19] Zhang M.M. Study of rock breaking simulation of a PDC bit based on discrete element method. Master thesis. 2017. Southwest Petroleum University, China (in Chin.).

[20] Zhu X., Tang L., Tong H. Effects of high-frequency torsional impacts on rock drilling. *Rock Mech Rock Eng.* 2014; 47 (4): 1345–54. <https://doi.org/10.1007/s00603-013-0461-0>.

[21] Zhu X.H., Liu W.J. The rock breaking and ROP rising mechanism for single-tooth high-frequency torsional impact cutting. *Acta Petrolei Sinica.* 2017; 38 (5): 578–86. <https://doi.org/10.7623/syxb.201705011> (in Chin.).

[22] <https://yandex.kz/search/?text=oval+Kassini>.

[23] https://ru.wikipedia.org/wiki/Lemniskat_Bernulli [Lemniscate Bernulli].

[24] <https://poleznayamodel.ru/model/11/111183.html>. *Shnekovi bur dlya vrashchatel'nogo bureniya skvazhin* [Auger drill for rotary drilling]

[25] <https://byreniepro.ru/byr-instrumenty/shnekovoe-burenie.html>. *Osobennosti shnekovogo bureniya skvazhin* [Features of auger well drilling].

[26] <http://www.drillings.ru/insr-shnek>. *Burovoy instrument dlya shnekovogo bureniya* [Drilling tool for auger drilling].

[27] <https://www.britannica.com/technology/hand-tool/Drilling-and-boring-tools>. Drilling and boring tools.