



ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ЗАБОЯ СКВАЖИНЫ НА ОСНОВЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ БУРОВОГО СНАРЯДА

Dilshoda Xatamova [0009-0002-8336-9884]

Хатамова Д.Н. - Навоийский государственный горно-технологический университет, доцент кафедры горного дела, доктор технических наук (DSc).

Аннотация. Образование шламового режима на забое скважины оказывает отрицательное воздействие на износостойкость долота и проходку скважины. Не полный вынос буровой мелочи приводит к образованию шламового режима, приводящего к аварийным ситуациям, на ликвидацию которых затрачивается большое количество времени и затрат. Кроме того, не эффективный вынос шлама значительно снижает механическую скорость бурения и повышает энергоемкость бурения, за счет повторного разбуривания шлама. В данной статье совершенствована конструкция бурового снаряда с целью предотвращения возникновения шламового режима, а также представлены результаты экспериментальных исследований совершенствованной конструкции бурового снаряда.

Ключевые слова: бурение, скважина, буровой снаряд, разбуренная порода, шламовый режим, забой, энергетические затраты, долота, промывка скважины, вихревой поток.

Annotatsiya. Skvajina tubida shlam hosil bo'lishi tog' jinsini parchalovchi asbobning chidamligiga va skvajinani o'tishga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Burg'ilangan tog' jinsini to'liq chiqarilmaganligi, bartaraf etilishi uchun ko'r vaqt va sarf-xarajatlar talab qiluvchi, avariya holatlariiga olib keluvchi shlamli rejim hosil bo'lishiga olib keladi. Shuningdek, shlamni samarasiz chiqarilishi shlam qayta burg'ilash natijasida burg'ilashning mexanik tezligini va energiya sarfini oshiradi. Ushbu maqlada shlamli rejimni oldini olish maqsadida burg'ilash snaryadining konstruksiyasi takomillashtirilgan hamda ushbu takomillashtirilgan burg'ilash snaryadining konstruksiyasining eksperimental tadqiqoti natijalari keltirilgan.

Kalit so'zlar: burg'ilash, skvajina, burg'i snaryadi, burg'ilangan tog' jinsi, shlamli rejim, skvajina tubi, energiya harajatlari, doloto, skvajinani yuvish, uyurmali oqim.

Abstract. The formation of slurry at the bottom of the well has a negative impact on the wear resistance of the bit and the penetration of the well. Incomplete removal of drilling fines leads to the formation of a slurry regime, leading to emergency situations, the elimination of which requires a large amount of time and expense. In addition, ineffective removal of cuttings significantly reduces the mechanical drilling speed and increases the energy intensity of drilling due to repeated drilling of cuttings. This article improves the design of the drill string in order to prevent the occurrence of slurry conditions, and also presents the results of experimental studies of the improved design of the drill string.

Keywords: drilling, well, drill string, drilled rock, slurry mode, bottom hole, energy costs, bits, well cleaning, vortex flow.

Введение

Для бурения геотехнологических, технологических и геологических скважин широко используются трехшарошечные долота, однако в действительности рабочие ресурсы намного меньше заявленных. При бурении скважин с гидравлической очисткой забоя, эффективность буровых работ снижается за счет возникновения шламового режима на забое. Образование шламового режима на забое приводит к интенсивному износу породоразрушающего инструмента, снижения механической скорости бурения и повышения энергоемкости бурения за счет повторного измельчения буровой мелочи на забое. Кроме того, повышается риск возникновения аварийных ситуаций, связанных с сальникообразованием и прихватом бурильной колонны.



Основная часть

Для эффективной очистки забоя скважины от частиц шлама и предотвращения отрицательного воздействия шламового режима усовершенствована конструкция породоразрушающего инструмента. При этом часть лапы трехшарошечного долота согнута по винтовой линии, что создает вихревую силу, способную поднимать шламовый раствор в процессе вращения долота, а также максимально направлять частицы шлама из-под долота к стенкам скважины, обеспечивая течение шлама. Угол вихревого сгиба части лапы трехшарошченого долота по винтовой линии определяется по выражению [1]:

$$\beta = \arctg \frac{x}{2\pi d}, \quad (1)$$

где x – винтовая линия, м; d – средний диаметр долота, мм.

$$x = \frac{Q}{0.1 \frac{\pi}{4} d \cdot n}, \quad (2)$$

где Q – расход промывочной жидкости, л/час; n – частота вращения долота, мин⁻¹. В результате расчетов был принят угол $\beta=60^\circ$, таким образом часть лапы трехшарошечного долота была согнута радиально на 60° . На рис.1 представлена совершенствованная конструкция трехшарошечного долота диаметром 76 мм.



$\beta=45^\circ$

$\beta=60^\circ$

$\beta=75^\circ$

Рис. 1. Общий вид совершенствованного трехшарошечного долота.

Как видно на рис.1, при совершенствовании конструкции лапы трехшарошечного долота за счет изменения формы его лапы увеличился канал между лапами, по которым вытекает промывочный раствор, за счет этого предотвращается обратное течение жидкости и соответственно, уменьшается передробление разрушенной породы.

В процессе направления промывочного раствора со дна к устью скважины, возникает гидравлическое и гидродинамическое сопротивление в результате трения между бурильной колонной и стенкой скважины, что приводит к уменьшению скорости поднятия вверх жидкости по стволу, в результате неравномерного движения жидкости, шлам в его составе оседает на дно.

Кроме этого, в результате высокой нагрузки, действующей на насос, увеличивается и расход энергии не только бурового насоса, но и увеличивается расход энергии



ротора, служащего для вращения бурильной колонны, за счет сопротивления промывочного раствора, оказываемого на бурильную колонну.

С целью ускорения течения поднятия промывочного раствора на верхнюю часть бурового снаряда, предотвращения оседания шлама и сальникообразования в бурильной колонне, а также уменьшения гидравлического сопротивления промывочного раствора нами совершенствована конструкция снаряда (рис.2), образующая вихревое течение.

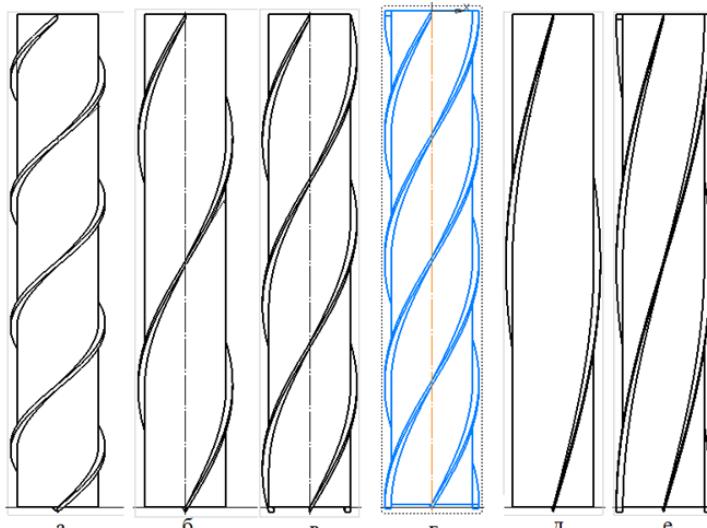


Рис. 2. Снаряд, создающий вихревой поток на дне скважине.

- а) двухсторонний винтовой с углом сгиба $\beta=40^\circ$;
- б) двухсторонний винтовой с углом сгиба $\beta=60^\circ$;
- в) трехсторонний винтовой с углом сгиба $\beta=60^\circ$;
- г) четырехсторонний винтовой с углом сгиба $\beta=60^\circ$;
- д) двухсторонний винтовой с углом сгиба $\beta=75^\circ$;
- е) трехсторонний винтовой с углом сгиба $\beta=75^\circ$

Сконструированы снаряды, создающие вихревой поток при поднятии вверх промывочной жидкости, одновинтовые, двухвинтовые, трехвинтовые и четырехвинтовые, с углом наклона винта для каждого 45° , 60° и 70° .

Схема и общий 3D вид бурового снаряда, повышающего эффективность гидравлической очистки забоя скважины представлена на рис. 3.

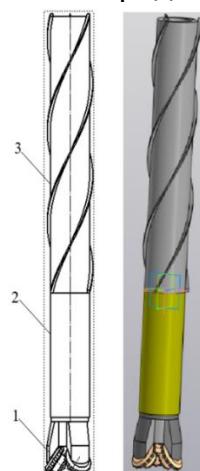


Рис. 3. Буровой снаряд, повышающий эффективность промывки забоя скважины: 1 – долото; 2 – бурильная труба; 3 – завихритель.



Длина завихрителя бурового снаряда, создающего вихревой поток и как следствие, повышающий эффективность промывки забоя скважины, составляет 400 мм, высота винта 7,5 мм, толщина 4 мм, угол сгиба винта относительно трубы 60°, а диаметр долота составляет 76 мм.

Проведены экспериментальные исследования разработанной конструкции бурового снаряда с целью определения его эффективности для создания вихревого потока промывочного раствора, а также определения конструктивных параметров, при которых будет достигнута наибольшая эффективность бурового снаряда, т.е. оптимальный угол сгиба лапы трехшарошечного долота, числа и угла сгиба винтов завихрителя.

На основе теоретических исследований и расчетов были определены конструктивные параметры, обеспечивающие наиболее высокую эффективность бурового снаряда, повышающего эффективность промывки забоя скважины. При этом угол сгиба лапы трехшарошечного долота диаметром 76 мм был принят 45°, 60° и 70°. Выбран трехвинтовой завихритель с углами сгиба 45°, 60° и 70°.

Эффективность бурового снаряда, повышающего эффективность промывки забоя скважины, зависит от параметров режима бурения, а точнее, от частоты вращения буровой колонны.

Исследованные в ходе экспериментальных опытов конструктивные параметры снаряда, образующие вихревой поток на дне скважины, представлены в табл.1.

Таблица 1.

Номер конструкции №	Диаметр трехшарошечного долота d , мм	Угол сгиблени лапы шарошки по винтовой линии, β_d	Длина завихритеle, l_3 , мм	Угол сгиблени винтов завихритеleя, β_3	Число винтов завихрителя, n_v
1	76	45°	400	45°	3
2	76	60°	400	60°	3
3	76	70°	400	70°	3

Основные задачи экспериментального исследования:

- определение наиболее оптимальных конструктивных параметров бурового снаряда, повышающего эффективность промывки забоя скважины, в зависимости от параметров режима бурения;
- исследование влияния бурового снаряда, повышающего эффективность промывки забоя скважины, на механическую скорость бурения;
- исследование влияния бурового снаряда, повышающего эффективность промывки забоя скважины, на стойкость долота;
- исследование влияния бурового снаряда, повышающего эффективность промывки забоя скважины, на расход энергии привода насоса и ротора.

Для выполнения экспериментальных работ была выбрана малогабаритная буровая установка с мощностью двигателя вращателя 7,5 кВт, мощностью лебедки спусковой-подъемной системы 3,5 кВт, мощностью насоса 4 кВт.



Экспериментальное исследование проводилось для бурового снаряда базовой конструкции и различных усовершенствованных конструкций, приведенных в табл. 1, в одинаковых полевых геологических условиях с одинаковыми режимами бурения в горных породах с одинаковыми коэффициентами крепости $f=7\div8$ и использованием промывочного раствора, на основе технической воды и глины (порошок глины 8 %, кальциевой соды 0,5 %, техническая вода 91,5 %).

В ходе эксперимента исследовано влияние бурового снаряда, повышающего эффективность промывки забоя скважины, на механическую скорость бурения и стойкость долота. Также, исследовано влияние бурового снаряда, повышающего эффективность промывки забоя скважины, на расход энергии привода насоса и ротора.

Точки замера, расположение установок и приборов для измерения, использованных в ходе экспериментальных работ, представлены схематически на рис. 4.

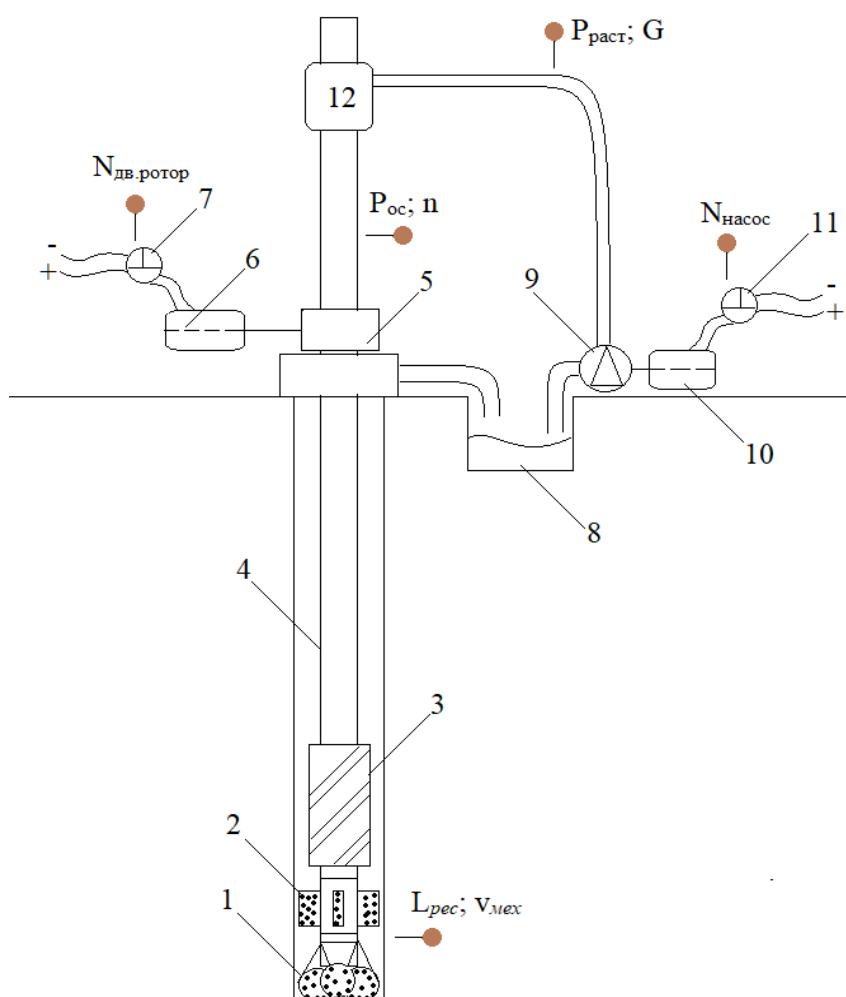


Рис. 4. Точки замера и контроля технологических показателей в ходе экспериментальных работ:

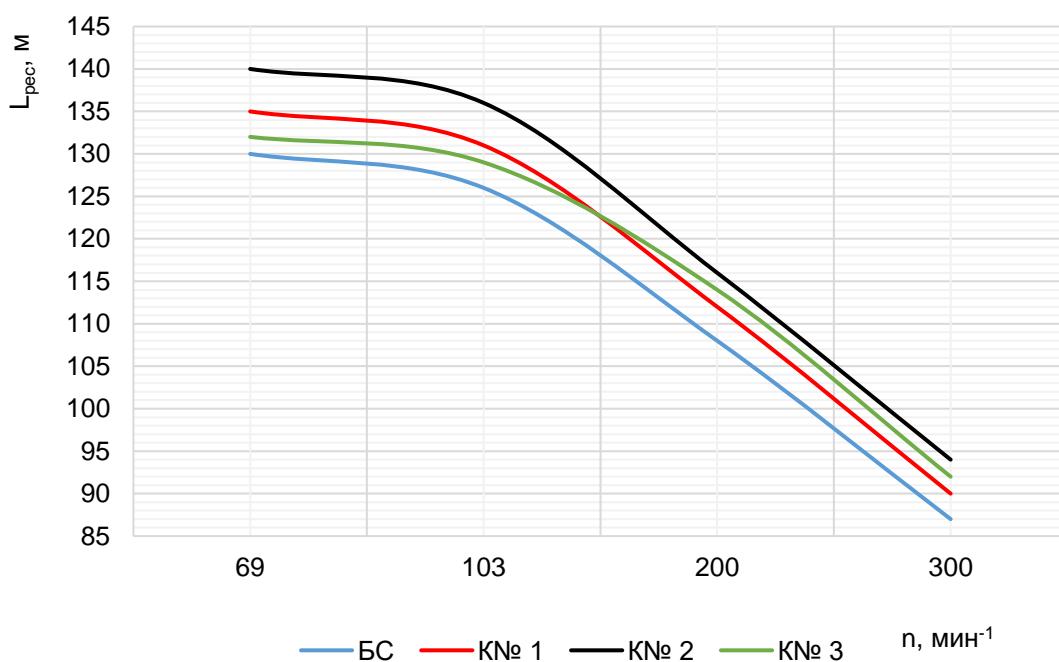
- 1 – долото; 2 – калибратор; 3 – завихритель потока; 4 – бурильная труба;
- 5 – вращатель; 6 – двигатель вращателя; 7 – электросчетчик; 8 – ёмкость;
- 9 – буровой насос; 10 – двигатель бурового насоса; 11 – электросчетчик;
- 12 – вертлюг-сальник; P_{oc} – осевая нагрузка, кН; n – частота вращения, об/мин;
- $P_{расм}$ – давление бурового раствора, МПа; G – расход бурового раствора, л/мин;
- $N_{дв.ротор}$ – расход электроэнергии двигателя ротора, кВт; $N_{насос}$ – расход



электроэнергии двигателя насоса, кВт; $L_{\text{рес}}$ – ресурс долота, м; $v_{\text{мех}}$ – механическая скорость бурения, м/час

В ходе экспериментальных работ базовый снаряд и совершенствованный снаряд были использованы до полного износа долота. Приняты одинаковые параметры режима бурения для всех конструкций, т.е. осевая нагрузка $P_{\text{oc}} = 7,5$ кН, частота вращения колонны $n = 69, 103, 200$ и 300 мин^{-1} . Расход промывочного раствора при частоте вращения $n = 69$ и 103 мин^{-1} составил $G = 32 \text{ л/мин}$, при частоте вращения колонны $n = 200$ и 300 мин^{-1} составил $G = 45 \text{ л/мин}$.

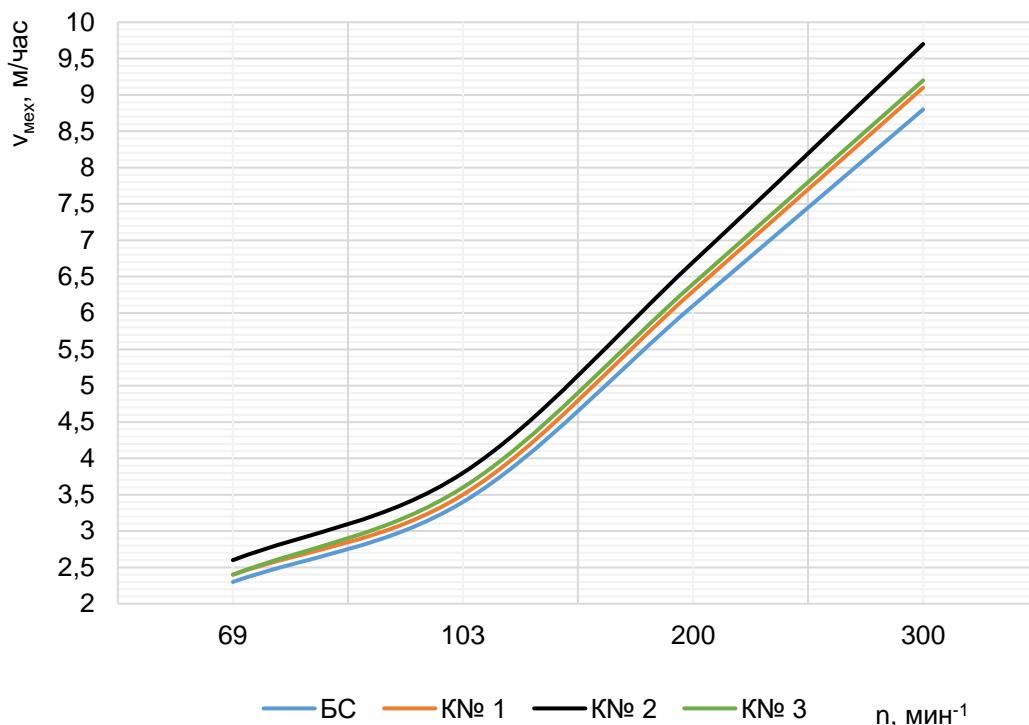
Установлено влияние частоты вращения буровой колонны на стойкость долота, данная зависимость представлена в графическом виде на рис. 5 при различных конструкциях бурового снаряда.



БС – базовый буровой снаряд; КН 1 – буровой снаряд конструкции №1 (β_d и β_3 - 45°); КН 2 – буровой снаряд конструкции №2 (β_d и β_3 - 60°); КН 3 – буровой снаряд конструкции №3 (β_d и β_3 - 70°)

Рис.6. Зависимость стойкости долота от частоты вращения буровой колонны.

Наиболее эффективным из испытанных конструкций является конструкция № 2 бурового снаряда с углом сгиба лапы трехшарошечного долота $\beta_d = 60^\circ$, углом сгиба винтов завихрителя $\beta_3=60^\circ$. При всех значениях частоты вращения буровой колонны данная конструкция показала наибольшую эффективность промывки забоя скважины от шлама. В ходе экспериментальных работ было исследовано влияние совершенствованной конструкции на механическую скорость, являющуюся еще одним показателем эффективности бурения, результаты исследований представлены в графическом виде на рис. 7.



БС – базовый буровой снаряд; К№1 – буровой снаряд конструкции №1 (β_d и β_3 -45°); К№2 – буровой снаряд конструкции №2 (β_d и β_3 -60°); К№3 – буровой снаряд конструкции №3 (β_d и β_3 -70°)

Рис.7. Зависимость механической скорости бурения от частоты вращения буровой колонны.

Экспериментальным путем установлено, что высокие значения механической скорости достигнуты при бурении повышающим эффективность промывки забоя скважины снарядом усовершенствованной конструкции трехшарошечного долота с углом сгиба лапы $\beta_d=60^\circ$ и углом сгиба винтов завихрителя $\beta_3=60^\circ$.

От применения усовершенствованной конструкции бурового снаряда, повышающего эффективность гидравлической очистки, ожидалось уменьшение затрат электроэнергии насоса и ротора, вращающего буровую колонну путем снижения нагрузки на привод насоса на основе уменьшения гидравлического сопротивления, оказываемого на вращение бурильной колонны, и улучшение поднятия промывочной жидкости с забоя скважины за счет предотвращения образования шламового режима на забое скважины.

По этой причине, было экспериментально исследовано влияние бурового снаряда, повышающего эффективность промывки забоя скважины, на расход энергии привода насоса.

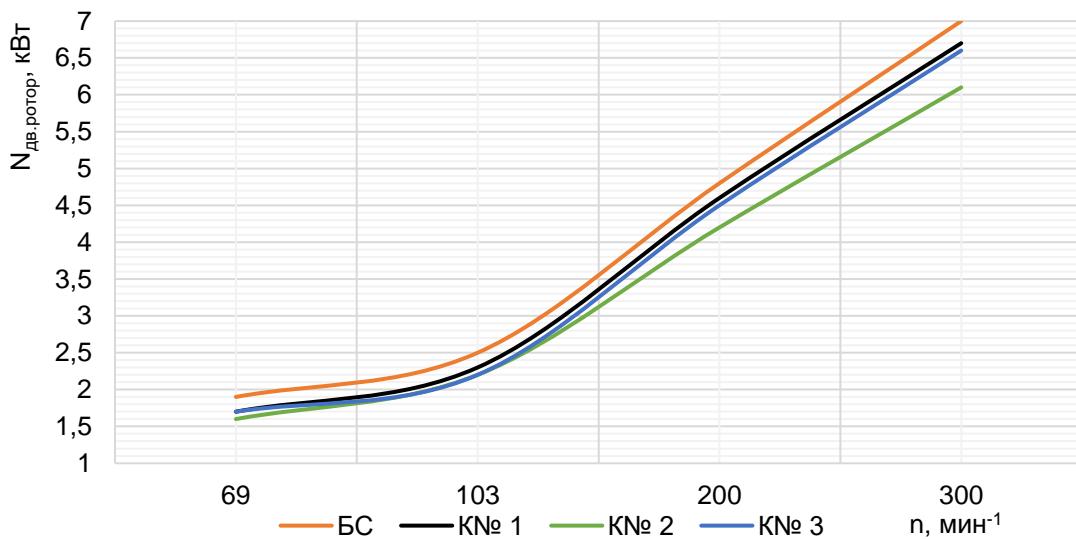
Ниже на рис. 8 представлены фотоснимки проведенного эксперимента.

Экспериментальные работы проведены с применением бурового вращателя с мощностью двигателя 7,5 кВт и бурового насоса с мощностью двигателя 4 кВт. Для определения расхода энергии двигателя бурового насоса и вращателя использован электросчетчик, также зафиксировано каждое значение расхода электроэнергии.



Рис.8. Фотоснимки электросчетчиков, использованных в ходе экспериментального исследования.

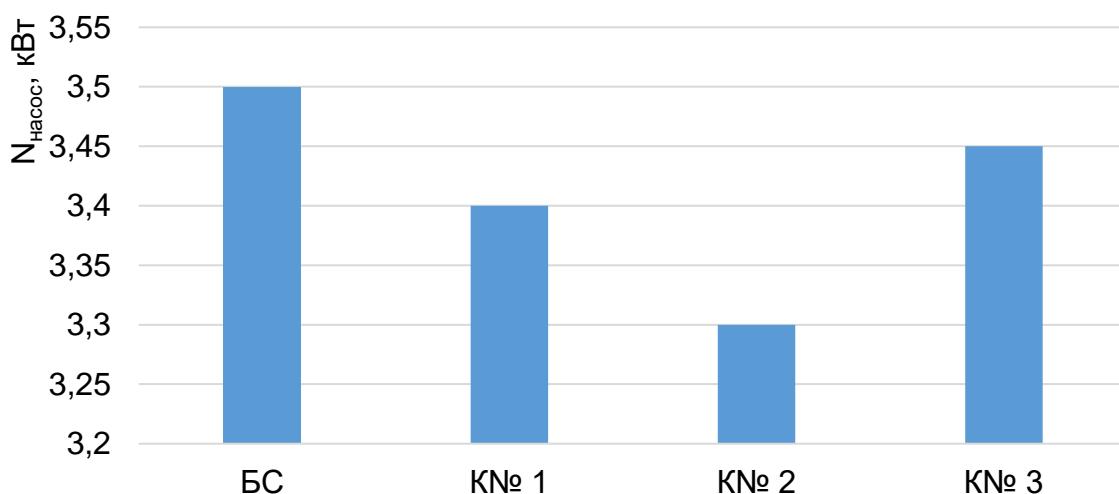
На рис. 9. представлена полученная зависимость расхода электроэнергии врачащателя при использовании базового и усовершенствованного бурового снаряда от частоты вращения колонны.



БС – базовый буровой снаряд; КNo 1 – буровой снаряд конструкции №1 ($\beta\delta$ и $\beta\zeta$ -45°); КNo 2 – буровой снаряд конструкции №2 ($\beta\delta$ и $\beta\zeta$ -60°); КNo 3 – буровой снаряд конструкции №3 ($\beta\delta$ и $\beta\zeta$ -70°)

Рис.9. Зависимость расхода энергии врачащателя от частоты вращения колонны.

Ниже на рис.10 представлен расход электроэнергии двигателя бурового насоса базовой и усовершенствованной конструкции бурового снаряда.



БС – базовый буровой снаряд; KNо 1 – буровой снаряд конструкции №1 (β_d и β_3 - 45°); KNо 2 – буровой снаряд конструкции №2 (β_d и β_3 - 60°); KNо 3 – буровой снаряд конструкции №3 (β_d и β_3 - 70°)

Рис.10. Расход энергии привода бурового насоса.

Заключение

Аналитический анализ проведенных теоретических и экспериментальных исследований показывает, что применение разработанного бурового снаряда, повышающий эффективность промывки забоя скважины, позволит повысить эффективность процесса бурения скважин за счет предупреждения образования шламового режима на забое скважины, повышения механической скорости бурения, а также уменьшения расхода электроэнергии двигателя бурового вращателя и насоса.

Среди всех предложенных конструкций бурового снаряда самой эффективной является конструкция № 2, с углом сгиба лапы трехшарошечного долота $\beta_d=60^\circ$, углом сгиба винтов завихрителя $\beta_3=60^\circ$.

Использование данной конструкции позволило повысить стойкость долота на 7-8 %, механическую скорость бурения на 9-10 %, а также снизить расход электроэнергии бурового вращателя на 8-9%, насоса - на 6-7 %.

Список использованных литературы:

- [1]. Власюк В.И., Калинин А.Г., Анненков А.А. Бурение и опробование разведочных скважин. – Москва: «ЦентрЛитНефтеГаз», 2010. – 860 с.
- [2]. Буткин В.Д., Демченко И.И. Буровые машины и инструменты. – Красноярск, СФК, 2012. – 121 с.
- [3]. Merkulov M.V., Djuraev R.U., Leontyeva O.B., Makarova G.Y., Tarasova Y.B. Simulation of thermal power on bottomhole on the bases of experimental studies of drilling tool operation // International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. Volume 8, No.8, 2020. – pp.4383-4389.