Анализ работоспособности и модернизация отклоняющего комплекса на базе забойной ударной машины

Нескоромных В. В.¹, Головченко А. Е.^{1*}

¹ Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

*e-mail: antong77@yandex.ru

Реферат

Введение. Ударно-вращательное бурение погружными пневмударниками – способ, широко используемый в горном деле и геологоразведке и одновременно являющийся одним из наиболее перспективных благодаря высоким скоростям проходки скважин в сочетании с долговечностью и надежностью применяемых при реализации способа конструкций. Одним из основных сдерживающих факторов производственного применения способа является отсутствие серийно выпускаемого отклоняющего комплекса, способного с высокой механической скоростью производить корректировку направления проведения скважин без снижения технологических параметров бурения.

Цель работы – анализ работоспособности и модернизация конструкции отклоняющего комплекса на базе забойной ударной машины для повышения точности набора кривизны скважины, а также синтез зависимости для определения интенсивности набора кривизны при реализации механизма разрушения горных пород внецентренными ударными импульсами.

Методология исследования. Проведенное исследование базируется на комплексе методов фундаментальных научных исследований, в частности анализе, синтезе, формализации, абстрагировании.

Выводы. Приведено выражение для определения интенсивности набора кривизны скважины в зависимости от параметров ударной системы. Исследованы условия работы ударника со смещенным центром масс в конструкции отклоняющего комплекса, приведена эмпирическая зависимость для определения величины погрешности ориентирования, даны рекомендации по ее уменьшению. Проанализирована область возможного применения представленного технического решения.

Ключевые слова: бурение; скважина; удар; ударник; искривление; перекося; эксцентриситет.

Введение. Ударно-вращательное бурение погружными пневмударными машинами – один из наиболее производительных механических способов бурения твердых горных пород из известных на данный момент, производственные объемы бурения данным способом увеличиваются с каждым годом. Разрушение горных пород при ударно-вращательном способе бурения является сложным многофакторным процессом и реализуется главным образом с помощью удара, осевая нагрузка и частота вращения при этом играют вспомогательную роль, а производительность регулируется давлением очистного агента – сжатого воздуха или газо-жидкостной смеси [1–3]. Производительность процесса ударно-вращательного бурения может повышаться с применением различных методик [4–8]. В то же время одним из главных сдерживающих факторов практического внедрения способа является отсутствие серийно

выпускаемого отклоняющего комплекса, способного с высокой механической скоростью производить корректировку направления проведения скважин без снижения механической скорости бурения.

Рис. 1. Принципиальная схема конструкции отклоняющего комплекса
Fig. 1. Schematic diagram of the deflection system design

искривления. На породоразрушающий инструмент при этом передается опрокидывающий момент, равный произведению силы удара на расстояние от оси инструмента до точки приложения удара.

Цель работы. Ввиду указанного данная работа преследовала две основные цели: это анализ работоспособности и модернизация конструкции пневмоударника-отклонителя с точки зрения повышения точности набора кривизны скважины, которая позволит с высокой точностью и производительностью управлять направлением скважин, а также получение уравнения для определения интенсивности набора кривизны скважины в зависимости от параметров ударной системы.

Методология исследования. Работа базируется на аналитическом исследовании механизма разрушения горных пород внецентренными ударными импульсами и способа управления направлением скважин с использованием данного механизма. При выполнении работы применялся комплекс методов фундаментальных научных исследований, включающий анализ, синтез, формализацию, абстрагирование.

Обсуждение. Рассматриваемый забойный ударный механизм обеспечивает набор кривизны за счет приложения к породоразрушающему инструменту внецентренных ударных импульсов [9]. Сущность способа изменения направления скважины состоит в том, что внецентренное точечное приложение ударов со стороны ударника по породоразрушающему инструменту обеспечивает неравномерное разрушение забоя. Неравномерность разрушения забоя, а именно различная глубина внедрения породоразрушающих вставок в породу, создает угол перекоса забоя скважины, что и определяет направление искривления. Таким образом, способ направленного бурения приложением внецентренных ударных импульсов состоит в том, что для набора кривизны определенного направления удары следует наносить по породоразрушающему инструменту со стороны, противоположной направлению

На рис. 1 дана принципиальная схема забойной ударной машины для управления направлением и кривизной скважины внецентренным приложением ударов к породоразрушающему инструменту. Ударник 7 размещен свободной посадкой в корпусе 2 и выполнен со смещенным центром тяжести поперечного сечения для осуществления самоориентирования ударника 7 относительно апсидальной плоскости скважины. На торце ударника 7 установлена пята 9 с возможностью установочного поворота относительно оси и центра тяжести ударника 7. На торце пяты 9 выполнен эксцентричный выступ 11 относительно оси ударника 7 и породоразрушающего инструмента 1 для нанесения внецентренного точечного удара.

Для изменения направления скважины пята 9 ориентируется выступом 11 относительно центра тяжести ударника на угол ориентации таким образом, чтобы удары по породоразрушающему инструменту наносились со стороны, противоположной направлению искривления. Интенсивность искривления регулируется величиной эксцентриситета выступа путем замены пяты 9.

Вследствие точечного удара породоразрушающему инструменту, вставкам и горной породе передается волна напряжений, их величина определяется радиусом, который равен величине удаления породоразрушающей вставки от точки приложения удара. Таким образом, при центральном ударе под породоразрушающими вставками, удаленными от центра торца породоразрушающего инструмента на равное расстояние, напряжения равны, а при внецентренном ударе под этими же вставками напряжения не равны и обратно пропорциональны радиусам, что создает условия для получения лунок разрушения разного размера и искривления скважины.

Область применения представленного отклоняющего комплекса – наклонные скважины различного целевого назначения с зенитным углом более 3°. Данное ограничение связано с принципом ориентации пяты с эксцентрично расположенным на ее нижнем торце выступом. Пята фиксируется на ударнике со смещенным центром масс поперечного сечения и принимающим положение, соответствующее нахождению центра масс в апсидальной плоскости скважины под действием силы тяжести.

Согласно теории Ж. В. Буссинеска о формировании напряжений в точке упругого полупространства от действия сосредоточенной силы авторами в общем виде получено выражение для определения напряжений под породоразрушающими вставками при точечном внецентренном ударе:

$$\sigma_i = \frac{3Q \cos^2 \psi_i \cos^2 \Delta}{2\pi r_i^2},$$

где Q – сила удара, даН; ψ_i – угол между осью инструмента и направлением движения ударного импульса от точки его приложения к породоразрушающему инструменту до породоразрушающей вставки, град; Δ – угол между осью инструмента и направлением ударного импульса, передаемого от ударника к породоразрушающему инструменту, град; r_i – расстояние от точки приложения ударного импульса к породоразрушающему инструменту до породоразрушающей вставки, м.

Анализ представленной зависимости показывает, что напряжения под породоразрушающими вставками при внецентренном приложении ударного импульса не равны, их максимальные значения наблюдаются под теми вставками, которые расположены со стороны точки приложения удара. При этом максимальные значения напряжений при внецентренном ударе выше, а минимальные – существенно ниже уровня напряжений, получаемых при центральном ударе, для которого характерно равенство напряжений под всеми породоразрушающими вставками. Этот комплекс факторов и определяет формирование угла перекоса забоя скважины, устанавливая величину интенсивности искривления.

Определим усилие на породоразрушающей вставке сферической формы, формирующей лунку разрушения, которыми может оснащаться буровое долото. В этом случае будет справедливо соотношение:

$$\frac{4P_i}{\pi d^2} = \frac{3Q \cos^2 \psi_i \cos^2 \Delta}{2r_i^2}, \quad (1)$$

где P_i – нормальное усилие на породоразрушающей вставке, формирующей лунку разрушения, Н; d – диаметр пятна контакта сферы торца породоразрушающей вставки с породой, мм².

Значение d определяется из известной зависимости Г. Герца:

$$d = 1,144 \sqrt[3]{P_i R \left(\frac{4}{E_1} (1 - \mu_1^2) + \frac{4}{E_2} (1 - \mu_2^2) \right)},$$

где R – радиус сферы торца твердосплавной вставки, м; E_1, E_2 – модули упругости материала твердосплавной вставки и породы, Па; μ_1, μ_2 – коэффициенты Пуассона для материала твердосплавной вставки и породы.

Учитывая, что модуль упругости E_1 для твердого сплава – величина, во многом превышающая E_2 для горной породы, а также малость величины μ_2^2 , выражение для d можно упростить:

$$d = 1,144 \sqrt[3]{\frac{4P_i R}{E}} = 1,82 \sqrt[3]{\frac{P_i R}{E}}, \quad (2)$$

где E – модуль упругости горной породы, Па.

Из формул (1) и (2) определяем P_i . Решение позволяет получить следующее соотношение параметров:

$$1,2 P_i^{\frac{1}{3}} \left(\frac{E}{R} \right)^{\frac{2}{3}} = \frac{3Q \cos^2 \psi_i \cos \Delta}{2r_i^2},$$

тогда

$$P_i = \sqrt[3]{\frac{3Q \cos^2 \psi_i \cos \Delta}{2r_i^2 1,2 \left(\frac{E}{R} \right)^{\frac{2}{3}}}} = 1,95 \sqrt[3]{\frac{Q \cos^2 \psi_i \cos \Delta R^{\frac{2}{3}}}{r_i^2 E^{\frac{2}{3}}}}.$$

Глубину лунки разрушения определим по формуле:

$$h = \frac{2P_i}{C},$$

где C – жесткость взаимодействующей породоразрушающей вставки и породы, даН/м.

Подставив полученное выражение для определения P_i в формулу определения глубины лунки разрушения, получим:

$$h = \frac{3,9}{C} \sqrt[3]{\frac{Q \cos^2 \psi_i \cos \Delta R^{\frac{2}{3}}}{r_i^2 E^{\frac{2}{3}}}}.$$

Зависимость расчета угла перекоса инструмента на забое, сформированного при внецентренном ударе, можно определить по формуле:

$$\gamma = \operatorname{arctg} \frac{\Delta h}{b},$$

где Δh – разность глубин внедрения в породу диаметрально противоположных вставок, м; b – расстояние между диаметрально противоположными вставками на торце долота, м.

Принимая $b = D$, где D – диаметр долота, получим выражение для расчета угла перекоса долота при внецентренном ударе по горной породе.

Также учитываем, что расстояние от точки приложения удара до вершин породоразрушающих вставок r_n , размещенных диаметрально в плоскости внецентренного удара, и углы ψ_n определяются по формулам:

$$r_n = \sqrt{H_g^2 + \left(\frac{D}{2} - e\right)^2};$$

$$\psi_n = \arccos \frac{H_g}{r_n},$$

где H_g – расстояние от верхнего до нижнего торца долота, м; e – эксцентриситет приложения ударного импульса, м.

Исходя из приведенных формул получим зависимость для расчета угла перекоса долота при внецентренном ударе:

$$\begin{aligned} \gamma = \frac{h_1 - h_2}{D} &= \frac{1}{D} \left[\frac{3,9}{C} \sqrt[3]{\frac{Q \cos \Delta R^{\frac{2}{3}} H_g^2 / \left(H_g^2 + \left(\frac{D}{2} - e \right)^2 \right)}{E^{\frac{2}{3}} \left(H_g^2 + \left(\frac{D}{2} - e \right)^2 \right)}} - \right. \\ &\quad \left. - \frac{3,9}{C} \sqrt[3]{\frac{Q \cos \Delta R^{\frac{2}{3}} H_g^2 / \left(H_g^2 + \left(\frac{D}{2} + e \right)^2 \right)}{E^{\frac{2}{3}} \left(H_g^2 + \left(\frac{D}{2} + e \right)^2 \right)}} \right] = \\ &= \frac{3,9}{DC} \sqrt[3]{\frac{Q \cos \Delta R^{\frac{2}{3}}}{E^{\frac{2}{3}}} \left[\frac{H_g^2}{\left(H_g^2 + \left(\frac{D}{2} - e \right)^2 \right)^2} - \frac{H_g^2}{\left(H_g^2 + \left(\frac{D}{2} + e \right)^2 \right)^2} \right]} = \\ &= \frac{3,9}{DC} \sqrt[3]{\frac{Q \cos \Delta R^{\frac{2}{3}} H_g^2}{E^{\frac{2}{3}}} \left[\frac{1}{\left(H_g^2 + \left(\frac{D}{2} - e \right)^2 \right)^2} - \frac{1}{\left(H_g^2 + \left(\frac{D}{2} + e \right)^2 \right)^2} \right]}. \end{aligned}$$

Интенсивность искривления скважин определим исходя из набора угла искривления γ на интервале углубления $0,5(h_1 + h_2)$, где h_1 и h_2 – глубины лунок разрушения, наибольшей и наименьшей, определяющие перекося долота и среднее углубление скважины:

$$i = \frac{2\gamma}{h_1 + h_2}.$$

В результате получим:

$$\begin{aligned} i &= 2 \left[\frac{1}{\left(H_g^2 + \left(\frac{D}{2} - e \right)^2 \right)^2} - \frac{1}{\left(H_g^2 + \left(\frac{D}{2} + e \right)^2 \right)^2} \right] \times \\ &\times \frac{1}{D} \left[\frac{1}{\left(H_g^2 + \left(\frac{D}{2} - e \right)^2 \right)^2} + \frac{1}{\left(H_g^2 + \left(\frac{D}{2} + e \right)^2 \right)^2} \right]^{-1} = \\ &= \frac{2 \left(\frac{1}{r_1^4} - \frac{1}{r_2^4} \right)}{D \left(\frac{1}{r_1^4} + \frac{1}{r_2^4} \right)} = \frac{2(r_2^4 - r_1^4)}{D(r_1^4 + r_2^4)} = \frac{2 \left[\left(H_g^2 + \left(\frac{D}{2} + e \right)^2 \right)^2 - \left(H_g^2 + \left(\frac{D}{2} - e \right)^2 \right)^2 \right]}{D \left[\left(H_g^2 + \left(\frac{D}{2} + e \right)^2 \right)^2 + \left(H_g^2 + \left(\frac{D}{2} - e \right)^2 \right)^2 \right]}. \end{aligned}$$

Для осуществления набора кривизны в заданную сторону в конструкции забойной ударной машины-отклонителя предусмотрено использование ударника со смещенным центром тяжести. В данном случае обеспечивается ориентирование ударника на основе принципа самоориентации, но условия его работы существенно отличаются от условий работы самоориентаторов типа ОП [10]. Основными особенностями работы ударника в забойной машине являются: отсутствие контакта со стенкой скважины; вращение корпуса забойной машины (при работе пневмоударника частота вращения составляет $1-2 \text{ с}^{-1}$); ориентация в условиях ударно-вибрационного характера работы забойной машины.

На рис. 2 приведена схема для оценки соотношения сил, обеспечивающих ориентацию ударника и дестабилизирующих его. Согласно схеме рис. 2 момент смещения

$$M_{\text{см}} = Q_y \sin \theta \sin \Delta \omega_0,$$

где Q_y – вес ударника, даН; θ – зенитный угол скважины, град; $\Delta \omega_0$ – угол отклонения центра тяжести от апсидальной плоскости, град.

Момент трения определяется как сумма моментов трения от действия веса ударника, центробежной силы и выражается зависимостью:

$$M_{\text{тр}} = Q_y R_{\text{б}} \mu^* \left(\sin \theta + \frac{e \omega^2}{g} \right),$$

где $R_{\text{б}}$ – радиус ударника, м; ω – частота вращения забойной ударной машины, с^{-1} ; g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; μ^* – коэффициент трения скольжения на контакте ударник–корпус забойной машины в условиях ударно-вибрационного характера работы.

Рис. 2. Схема для определения условий и погрешности ориентирования ударника со смещенным центром тяжести в ударной забойной машине

Fig. 2. Scheme for determining the conditions and accuracy of orientation of the hammer with a displaced center of gravity in the downhole hammer

После преобразований получим погрешность ориентирования ударника согласно зависимости (рис. 3):

$$\Delta \omega_0 = \arcsin \left(R_{\text{б}} \mu^* \left(\frac{1}{e} + \frac{\omega^2}{g \sin \theta} \right) \right).$$

Для оценки $\Delta \omega_0$ нужно определить μ^* , учитывая ударно-вибрационный характер работы забойной машины и ускоренное движение ударника, периодически разгоняющегося из положения, когда скорость его движения равна нулю, до максимальной скорости, предшествующей удару. Согласно схеме рис. 2, угол встречи вектора ударной нагрузки с породоразрушающим инструментом определяется углом $\vartheta = 180^\circ - \beta_1$, где β_1 – угол между направлением движения ударника и направлением результирующего импульса. Согласно работе Я. Г. Пановко, И. И. Блехмана [11], коэффициент трения виброударной системы определяется зависимостью:

$$\mu_{\text{vy}} = \frac{u}{\sqrt{v^2 + u^2 + 2vu \cos \vartheta}} \mu,$$

где v , u – скорости движения ударника и корпуса забойной машины, м/с ; μ – коэффициент трения скольжения между ударником и корпусом забойной машины в состоянии покоя.

Снижение коэффициента трения от μ до $\mu_{\text{вы}}$ приводит к уменьшению силы трения $m_y B \mu$ до $m_y B \mu_{\text{вы}}$ (рис. 2) и соответственно $F_{\text{тр}}$ до $F_{\text{вы}}$, а результирующей силы трения $F_{\text{тр}}^p$ до $F_{\text{вы}}^B$. Скорость движения корпуса определяется зависимостью:

$$u = T_p \frac{P_p g}{m_k g + P_{\text{ос}}},$$

где T_p – время цикла работы забойной машины, с; P_p – давление рабочего хода ударника, Па; $P_{\text{ос}}$ – осевое усилие, даН; m_k – масса корпуса забойной машины, кг.

Рис. 3. Схема, поясняющая процесс образования погрешности ориентирования ударника со смещенным центром масс

Fig. 3. Scheme explaining the process of formation of the orientation error of a hammer with a displaced center of gravity

Вследствие удара ударник испытывает перегрузку, равную отношению ускорения при ударе к ускорению разгона ударника до скорости удара. Время удара – величина, определяемая размерами, формой соударяющихся частей ударника и породоразрушающего инструмента, скоростью прохождения волны ударного импульса в материале, а также скоростью деформации и разрушения горной породы. Время удара составляет предельные значения $1 \cdot 10^{-5}$ – $1 \cdot 10^{-4}$ с. Ускорение торможения, испытываемое ударником, определяется из соотношения скорости ударника перед ударом v , длительности удара $t_{\text{уд}}$ и скорости ударника после удара. Принимая во внимание малую величину скорости ударника при ударе, ускорение торможения можно представить:

$$A = \frac{v}{t_{\text{уд}}}.$$

Ускорение разгона ударника до скорости, предшествующей удару, соответственно

$$B = \frac{v}{t_{\text{ц}}},$$

где $t_{\text{ц}}$ – время движения ударника из верхней точки рабочего хода в нижнюю, с.

Время $t_{\text{ц}}$ определяется частотой ударов $\omega_{\text{уд}}$, реализуемых забойной машиной, и составляет $\omega_{\text{уд}}/120$ с. Для $\omega_{\text{уд}} = 1200$ ударов в минуту $t_{\text{ц}}$ может составить 0,05–0,1 с.

Таким образом, коэффициент трения при ударе уменьшится пропорционально снижению силы трения и составит:

$$\mu^* = \frac{\mu_{\text{вы}} t_{\text{уд}}}{t_{\text{ц}}},$$

а результирующий коэффициент трения

$$\mu^* = \frac{\mu t_{\text{уд}}}{t_{\text{ц}} \sqrt{v^2 + u^2 + 2vu \cos \vartheta}}.$$

Выражение для расчета $\Delta\omega_0$ получит окончательный вид:

$$\Delta\omega_0 = \arcsin \left(\frac{\mu t_{\text{уд}} R_{\text{б}}}{t_{\text{ц}} \sqrt{v^2 + u^2 + 2vu \cos \vartheta}} \left(\frac{1}{e} + \frac{\omega^2}{g \sin \theta} \right) \right).$$

Анализ полученной зависимости показывает, что при работе ударника достигается многократное снижение коэффициента трения. Учитывая, что и коэффициент трения покоя пары *ударник–корпус забойной машины* невелик (0,05–0,07), можно сделать вывод о возможности использования забойной ударной машины-отклонителя и при более высоких частотах вращения в сравнении с частотой вращения современных пневмоударных машин.

Повышение точности ориентирования ударника со смещенным центром масс может осуществляться покрытием из твердого пористого металла наружной поверхности ударника и внутренней поверхности верхней и нижней гильз, а также внутренней поверхности корпуса [12]. Данное покрытие позволит дополнительно уменьшить момент трения между внутренней поверхностью корпуса, верхней и нижней гильзами и наружной поверхностью ударника, а также позволит более эффективно применять смазывающие добавки, концентрирующиеся в порах на поверхности конструктивных элементов забойной машины-отклонителя.

Практическое применение технологии корректировки направления скважин отклоняющим комплексом на базе забойной ударной машины в условиях ударно-вращательного бурения может производиться как с целью компенсации вызванных неоднородностью физико-механических свойств горных пород отклоняющих усилий, так и для целенаправленного набора кривизны скважины (прокладка инженерных коммуникаций под руслами рек, озерами, различными техногенными образованиями, объединение подземных горных выработок).

Выводы. Способ направленного бурения приложением внецентренных ударных импульсов может применяться при пневмоударном бурении как с отбором

керна, так и без него. При этом возможно получение искривления с высокой механической скоростью и с плавным набором кривизны. Данный способ открывает возможность бурения скважин в анизотропных и перемежающихся по твердости горных породах с минимальной интенсивностью искривления с высокой производительностью, так как исключает применение технических средств корректировки направления скважины путем компенсации отклоняющих сил, изгибающего момента, действующих со стороны забоя и формирующих направление скважины. Компенсация названных сил и моментов может осуществляться ориентацией забойной ударной машины-отклонителя в направлении, противоположном направлению естественного искривления. Эксцентриситет приложения удара может определяться экспериментально, в том числе непосредственно при проходке скважин, а также путем проведения теоретических расчетов.

Основные результаты проведенного исследования:

- получено выражение для определения интенсивности набора кривизны скважины в зависимости от параметров ударной системы;
- получена зависимость для определения погрешности ориентирования ударника со смещенным центром масс поперечного сечения в процессе работы;
- приведены рекомендации по уменьшению погрешности ориентирования ударника со смещенным центром масс поперечного сечения в процессе работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Опарин В. Н., Тимонин В. В., Карпов В. Н. Количественная оценка эффективности процесса разрушения горных пород при ударно-вращательном бурении скважин // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2016. № 6. С. 60–74.
2. Тимонин В. В., Карпов В. Н. Оценка процесса разрушения горных пород при ударно-вращательном бурении скважин // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2016. Т. 2. № 3. С. 172–176.
3. Танайно А. С., Липин А. А. Состояние и перспективы ударно-вращательного бурения // ФТПРПИ. 2004. № 2. С. 82–93.
4. Головченко А. Е. Использование внецентренной ударной нагрузки для повышения производительности процесса бурения и управления направлением скважины // Проблемы недропользования: сб. науч. тр. Часть II. СПб: СПбГУ, 2018. С. 262.
5. Song C., Chung J., Cho J., Nam Y. Optimal design parameters of a percussive drilling system for efficiency improvement. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2018. DOI: 10.1177/0954406217726563
6. Kang H., Park J., Cho J., Jang J., Kim K., Lee J. Optimal button arrangement of a percussion drill bit and its operating condition for improving drilling efficiency. *Journal of Mechanical Engineering Science*. 2018. P. 2887–2898. DOI: 10.1177/0954406217726563
7. Bu C., Qu Y., Cheng Z., Liu B. Numerical simulation of impact on pneumatic DTH hammer percussive drilling. *Journal of Earth Science*. 2009. Vol. 20. No. 5. P. 868–878. DOI: 10.1007/s12583-009-0073-5
8. Saadati M., Forquin P. A., Weddfelt K., Larsson P.-L., Hild F. Granite rock fragmentation at percussive drilling – experimental and numerical investigation. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*. 2014. DOI: 10.1002/nag.2235
9. Устройство для направленного бурения ударно-вращательным способом: пат. 2039185 Рос. Федерация. № 92001971/03; заявл. 23.10.1992; опубл. 09.07.1995. Бюл. № 19. 7 с.
10. Бурение разведочных скважин / Н. В. Соловьев [и др.]. М.: Высшая школа, 2007. 904 с.
11. Блехман И. И., Мышкис А. Д., Пановко Я. Г. Механика и прикладная математика. Логика и особенности приложений математики. М: Наука, 1990. 360 с.
12. Устройство для направленного ударно-вращательного бурения: пат. 172743 Рос. Федерация. № 2017110940; заявл 31.03.2017; опубл. 21.07.2017. Бюл. № 21. 6 с.

Поступила в редакцию 11 ноября 2019 года

Сведения об авторах:

Нескоромных Вячеслав Васильевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и техники разведки Института горного дела геологии и геотехнологий Сибирского федерального университета. E-mail: sovair@bk.ru

Головченко Антон Евгеньевич – ассистент кафедры технологии и техники разведки Института горного дела геологии и геотехнологий Сибирского федерального университета.
E-mail: antong77@yandex.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2020-2-5-16

Performance analysis and modernization of a deflection system based on the downhole hammer

Viacheslav V. Neskorumnykh¹, Anton E. Golovchenko¹

¹ Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia.

Abstract

Introduction. The method of rotary-percussion drilling with downhole hammers is widely used in mining and geological exploration and is also one of the most promising due to the high well flow rates combined with the durability and reliability of designs used in method implementation. One of the main constraints for field use is the lack of a commercially available deflection system capable of adjusting the direction of the wells with high mechanical speed without reducing the technological parameters of drilling.

Research aim is to analyze the performance and modernize the designs of the deflection system based on the downhole machine from the point of view of increasing the accuracy of hole deviation change, as well as to make a dependence synthesis to determine the intensity of the hole deviation change when implementing the mechanism of rock destruction by eccentric impact pulses.

Research methodology. The study is based on a set of methods of basic scientific research, in particular analysis, synthesis, formalization, abstraction.

Conclusions. Dependence is given for determining the intensity of the hole deviation change depending on the impact system parameters. The working conditions of the hammer with a displaced center of gravity in the design of the deflection system are investigated, an empirical dependence is given for determining the magnitude of the orientation error, and recommendations are given for its reduction. The area of possible application of the presented technical solution is analyzed.

Key words: drilling; well; impact; hammer; deviation; skew; eccentricity.

REFERENCES

1. Oparin V. N., Timonin V. V., Karpov V. N. Quantitative estimate of rotary-percussion drilling efficiency in rocks. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh* = *Journal of Mining Science*. 2016; 6: 60–74. (In Russ.)
2. Timonin V. V., Karpov V. N. Assessment of rock failure process under percussion-rotary drilling. *Fundamentalnye i prikladnye voprosy gornykh nauk* = *Mining Sciences: Fundamental and Applied Issues*. 2016; 2(3): 172–176. (In Russ.)
3. Tanaino A. S., Lipin A. A. State and prospects of the percussive-rotary blasthole drilling in quarries. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh* = *Journal of Mining Science*. 2004; 2: 82–93. (In Russ.)
4. Golovchenko A. E. The use of eccentric shock to increase the productivity of the drilling process and control the direction of the well. In: *Problems of subsoil use: proceedings*. Part II. St. Petersburg: St. Petersburg University Publishing; 2018. p. 262. (In Russ.)
5. Song C., Chung J., Cho J., Nam Y. Optimal design parameters of a percussive drilling system for efficiency improvement. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2018. DOI: 10.1177/0954406217726563
6. Kang H., Park J., Cho J., Jang J., Kim K., Lee J. Optimal button arrangement of a percussion drill bit and its operating condition for improving drilling efficiency. *Journal of Mechanical Engineering Science*. 2018. P. 2887–2898. DOI: 10.1177/0954406217726563
7. Bu C., Qu Y., Cheng Z., Liu B. Numerical simulation of impact on pneumatic DTH hammer percussive drilling. *Journal of Earth Science*. 2009. Vol. 20. No. 5. P. 868–878. DOI: 10.1007/s12583-009-0073-5
8. Saadati M., Forquin P. A., Weddfelt K., Larsson P.-L., Hild F. Granite rock fragmentation at percussive drilling – experimental and numerical investigation. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*. 2014. DOI: 10.1002/nag.2235
9. Fedorov V. V., Lipin A. A., Neskorumnykh V. V., Kostin Iu. S. *Apparatus for directed drilling by percussion-rotary method*. Patent RF no. 92001971/03; 1995. (In Russ.)
10. Solovev N. V. et al. *Exploratory drilling*. Moscow: Vysshaya shkola Publishing; 2007. (In Russ.)
11. Blekhman I. I., Myshkis A. D., Panovko Ia. G. *Mechanics and applied mathematics. Logic and features of mathematics applications*. Moscow: Nauka Publishing; 1990. (In Russ.)
12. Neskorumnykh V. V., Golovchenko A. E. *Device for directional rotary-percussion drilling*. Patent RF no. 2017110940; 2017. (In Russ.)

Information about authors:

Viacheslav V. Neskromnykh – DSc (Engineering), Professor, Head of Exploration Technology and Technique Department, Institute of Mining, Geology and Geotechnology, Siberian Federal University. E-mail: sovair@bk.ru

Anton E. Golovchenko – assistant lecturer, Exploration Technology and Technique Department, Institute of Mining, Geology and Geotechnology, Siberian Federal University. E-mail: antong77@yandex.ru

Для цитирования: Нескоромных В. В., Головченко А. Е. Анализ работоспособности и модернизация отклоняющего комплекса на базе забойной ударной машины // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 2. С. 5–16. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-2-5-16

For citation: Neskromnykh V. V., Golovchenko A. E. Performance analysis and modernization of a deflection system based on the downhole hammer. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020; 2: 5–16 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2020-2-5-16