

УДК 622.24.05

В. В. Куликов, д-р техн. наук

Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ), Москва, Россия

Затраты мощности на разрушение забоя геологоразведочной скважины

Установлена зависимость, позволяющая более точно и обоснованно рассчитать значение мощности, затрачиваемой на разрушение горных пород буровой коронкой. Приведен пример расчета мощности. В качестве показателя эффективности процесса передачи энергии на забой скважины использован коэффициент полезного действия.

Ключевые слова: мощность, буровая коронка, коэффициент полезного действия.

Для механического разрушения горных пород к породоразрушающему инструменту (ПРИ) подводятся потоки механической энергии. Поток энергии по физическому смыслу представляет собой механическую работу, реализуемую (совершаемую, затрачиваемую) в единицу времени, т. е. мощность. Необходимо различать принципиально разные по смыслу мощности – подведенную к ПРИ и реализованную.

Реализованная (затраченная) в процессе разрушения горных пород мощность расходуется на перемещение ПРИ в массиве горных пород со скоростью v . Препятствуют перемещению ПРИ (буровой коронки) силы сопротивления. Для преодоления сил сопротивления к ПРИ прикладывается сила F^Σ , равная по абсолютному значению их векторной сумме, но противоположно ей направленная.

Мощностью N силы F^Σ называют величину, равную (при $F^\Sigma = \text{idem}$) скалярному произведению скорости перемещения v точки приложения этой силы на величину F – проекцию силы F^Σ на направление вектора скорости перемещения [11, 17]:

$$N = v \cdot F. \quad (1)$$

В силу специфики процесса разрушения горных пород на забое скважины, величины F и v в (1), в общем случае, независимы одна от другой: при одинаковой силе F^Σ , приложенной к ПРИ, скорость разрушения горных пород v (скорость перемещения ПРИ в массиве пород) может быть различной.

Работоспособные в широком диапазоне значений формулы должны включать в себя все те основные физические параметры, от которых зависит искомая величина. Неучет какого-либо основного физического параметра в полуэмпирических (теоретических, но с некоторыми опытными числовыми значениями) и чисто теоретических (аналитических) зависимостях также недопустим, так как приводит к противоречию с физической теорией размерности [5, 8, 16].

Следовательно, в соответствии с (1), теоретически и экспериментально установленные рекомендуемые зависимости, служащие для расчета реализованных в разрушение горных пород энергозатрат на забое скважины N в обязательном порядке должны включать в себя (непосредственно или опосредованно), как минимум, произведение двух независимых величин: скорости разрушения горной породы v и проекции F результирующей силы F^Σ на направление вектора скорости v . При этом следует отметить следующее.

Во-первых, понимать под скоростью перемещения буровой коронки только механическую скорость бурения v_m или только окружную скорость вращения бурового инструмента v_o (частоту вращения n) неверно. В действительности вектор скорости v касателен к пространственной правой винтовой линии [4, 12], по которой движутся точки корпуса коронки в массиве горных пород в процессе углубки скважины. Правая винтовая траектории получается в результате векторного сложения окружного движения бурового инструмента с задаваемой частотой вращения n и его осевого перемещения со скоростью v_m . Другими словами, скорость v является результирующей скоростью. Точно также неверно под силой F^Σ понимать силу сопротивления

только окружному или только осевому перемещению коронки. Сила F^Σ – это результирующая сила сопротивления движению коронки в массиве горных пород. Она является результатом векторного сложения силы сопротивления осевому перемещению ПРИ, равной (при равномерной углубке скважины) осевому усилию C_{oc} , прикладываемому к коронке (осевой нагрузке), и силы сопротивления вращению ПРИ, т. е., окружной силы F_o (при равномерном вращении).

Таким образом, мощность N , реализованная в процессе разрушения горных пород, представляет собой векторную сумму осевой N_{oc} и окружной N_o мощностей в направлении вектора скорости разрушения горных пород v , или что тоже самое, скалярное произведение двух величин: результирующей скорости v и силы F – проекции результирующей силы F^Σ на направление вектора скорости v (1).

Во-вторых, в расчетных зависимостях для определения затраченной на разрушение горных пород мощности использовать вместо скорости v не все величины, от которых она зависит, а лишь часть из них (например, только осевую нагрузку C_{oc} , частоту вращения бурильного инструмента n и объемный расход очистного агента Q), также неверно. Так, механическая скорость бурения скважины v_m , как одна из составляющих результирующей скорости v , функционально может быть представлена, например, следующим образом:

$$v_m = f(C_{oc}, n, Q, \Psi), \quad (2)$$

где Ψ – безразмерный показатель свойств горной породы, размера и типа ПРИ, свойств очистного агента, компоновки бурильной колонны и других неучтенных факторов (часто в формулах, аналогичных (2), диаметр ПРИ D учитывают в виде отдельного размерного параметра).

Следовательно, формула (1), с учетом (2), в наиболее общем виде может быть корректно представлена в следующей эквивалентной форме:

$$N = a \cdot F \cdot C_{oc}^b \cdot n^d \cdot Q^e \cdot \Psi^\kappa, \quad (3)$$

где a, b, d, e, κ – некоторые числовые значения, эмпирически определяемые для данных условий; причем b, d, e, κ – безразмерные величины, а число a в СИ имеет размерность $\text{Вт} / (\text{Н}^{(1+b)} \cdot \text{с}^{-d} \cdot (\text{м}^3/\text{с})^e)$.

Окружная скорость v_o зависит от параметров n и Ψ , входящих в (2) и поэтому в зависимости (3) учтена опосредованно.

Однако по сравнению с (1), уравнение (3) является структурно более сложным и менее определенным, включающим в себя комплексный показатель Ψ , устанавливаемый опытным путем. Поэтому для получения наиболее универсального и строгого полуэмпирического (так как только аналитическое решение в данном случае невозможно) результата представим его в форме уравнения (1). Для этого рассмотрим все потоки энергии, передаваемые от буровой установки непосредственно по телу колонны бурильных труб и корпусу ПРИ к забой скважины. Мощность потока очистного агента, движущегося внутри и снаружи колонны бурильных труб, передаваемую от бурового насоса, здесь рассматривать не будем. Для удобства рассмотрения потоков энергии, действующих сил и скоростей движения из пространственной правой винтовой линии выделим участок длиной, равной длине одного оборота ПРИ вокруг своей оси, и мысленно развернем выделенный участок на плоскости, проходящей через продольную ось буровой коронки.

По телу колонны бурильных труб корпусу коронки передаются два независимых потока энергии: в осевом направлении – N_{oc} (в частности, мощность N_T , переданная ПРИ вдоль его продольной оси от действия силы тяжести бурового снаряда), а в окружном – N_o (мощность окружной силы). Если буровая установка имеет механизм принудительной подачи бурового снаряда на забой скважины, то при бурении с дополнительной осевой нагрузкой кроме мощности N_T в осевом направлении на ПРИ будет приходиться мощность $N_{мп}$, переданная от механизма подачи ($N_{мп} \geq 0$: $N_{мп} = 0$ при отсутствии механизма принудительной подачи инструмента и при бурении без дополнительной нагрузки):

$$N_{oc} = N_T + N_{мп}. \quad (4)$$

Следует иметь в виду, что при рассмотрении процессов разрушения горных пород на забое скважины и износа коронки, а также при оценке эффективности работы ПРИ нужно учитывать как мощность N_T , так и мощность $N_{мп}$, а при расчете мощности привода буровой установки – в качестве одного из слагаемых мощность N_T от действия силы тяжести бурового снаряда не следует учитывать: этот поток энергии создается не установкой, а полем тяготения Земли.

В соответствии со сказанным выше, часто используемое понятие «забойная мощность» N_z [6] является условным, характеризующим только место энергозатрат, но не физический смысл. С одной стороны, забойная мощность – это мощность, подводимая к ПРИ только от поверхностного или подземного бурового оборудования (вращателей буровых установок, механизмов принудительной подачи бурильного инструмента, буровых насосов, забойных двигателей); обозначим эту мощность N_{z1} . С другой стороны, забойная мощность – это мощность, подводимая не только от буровых машин, но, в том числе, и мощность силы тяжести бурильного инструмента; обозначим ее N_{z2} . В-третьих, под «забойной мощностью» можно понимать мощность N_{z3} , реализуемую в процессе разрушения горных пород. Указывать в каком именно смысле используется термин «забойная мощность», во избежание путаницы, обязательно. Например, компонентом затрат энергии буровой установки на процесс углубки скважины во времени является исключительно забойная мощность N_{z1} . При рассмотрении процесса разрушения горных пород на забое скважины, при изучении износа долот, а также при оценке эффективности процесса работы долота должны учитываться забойные мощности N_{z2} и N_{z3} . По смыслу забойные мощности N_{z1} и N_{z2} являются подведенными к долоту, а N_{z3} – реализованная (затраченная) в ходе разрушения горных пород забоя скважины мощность.

Для оценки эффективности процесса разрушения горных пород на забое скважины данным ПРИ можно воспользоваться понятием механического коэффициента полезного действия (КПД) работы ПРИ [11]. Выраженный в долях единицы КПД работы коронки по разрушению горных пород на забое скважины η_3 будет представлять собой отношение реализованной (затраченной) в процессе разрушения горных пород забоя скважины мощности N к подведенной от буровой установки по телу колонны бурильных труб к корпусу ПРИ мощности $N_{п}$:

$$\eta_3 = N / N_{п} \quad (5)$$

$$N_{п} = N / \eta_3 \quad (5a)$$

Осевая мощность $N_{ос}$ для случая оценки эффективности работы буровой коронки на забое скважины определяется величинами механической скорости углубки скважины v_m и осевой нагрузкой $C_{ос}$, приложенной к ПРИ, причем, независимо от источника усилия (действия силы тяжести или усилия от работы механизма принудительной подачи бурового инструмента):

$$N_{ос} = v_m \cdot C_{ос} \quad (6)$$

Окружная мощность [7, 17]:

$$N_o = M_{кр} \cdot \omega, \quad (7)$$

где $M_{кр}$ – крутящий момент, $M_{кр} = F_o \cdot r$; ω – угловая скорость вращения коронки, $\omega = v_o / r$; r – радиус ПРИ.

$$N_o = F_o \cdot r \cdot v_o / r = v_o \cdot F_o \quad (8)$$

Обобщая закон трения скольжения Амонтона [11, 17] на случай сопротивления окружному движению ПРИ на забое скважины, вслед за работами [7, 11, 14, 15], примем:

$$F_o = \mu \cdot C_{ос}, \quad (9)$$

где μ – опытный обобщенный коэффициент сопротивления окружному движению ПРИ на забое скважины.

Окружную скорость движения корпуса ПРИ v_o выразим [11, 17] через задаваемую частоту вращения бурового инструмента n :

$$v_o = \omega \cdot r = \omega \cdot D / 2 = 2 \cdot \pi \cdot D \cdot n / 2 = \pi \cdot D \cdot n, \quad (10)$$

где D – значение диаметра ПРИ.

После подстановки формул (9) и (10) в (8) получим:

$$N_o = \mu \cdot C_{ос} \cdot \pi \cdot D \cdot n \quad (11)$$

$$\mu = N_o / (C_{ос} \cdot \pi \cdot D \cdot n) \quad (11a)$$

Анализ формулы (11a) показывает, что, в общем случае, величина μ зависит от многих факторов. При $N_o = idem$, $C_{ос} = idem$ и $n = idem$ $\mu = f(1/D)$, т. е., для точек данного ПРИ, находящихся на различном радиальном расстоянии от его центра, значения μ будут различными. Для удобства ведения расчетов и исключения разброса данных, значения μ следует указывать единообразно, для наиболее характерного размера ПРИ данного типа. Например, для бурения с

отбором керн D – среднее значение диаметра ПРИ: $D = D_{cp}$ (D_{cp} – среднее арифметическое значений минимального внутреннего D_v и максимального наружного D_n диаметров коронки). С целью исключения функциональных связей $\mu = f(1/C_{oc})$ и $\mu = f(1/n)$ из формулы (11а), значения μ нужно определять для рационального диапазона изменения осевых нагрузок C_{oc} и частот вращения n (а также расходов очистного агента Q) применительно к данному типу ПРИ и характерным горным породам. При соблюдении указанных выше условий, в уравнении (11а) значимой для данного типа ПРИ остается лишь одна функциональная зависимость $\mu = f(1/N_o)$, определяемая в этом случае только свойствами горных пород.

Если принять, что рекомендуемые зависимости для расчета N_o , представленные в [13, 15], справедливы для рациональных диапазонов изменения значений C_{oc} , n и Q , то после преобразования формул в размерности СИ с восстановлением утраченной в них физической структуры формулы (10), получим: $\mu \approx 0,38$ для алмазных буровых коронок ($D = D_{cp}$); для твердосплавных коронок ($D = D_{cp}$) $\mu \approx 0,26 - 0,34$ при бурении в глинах и $\mu \approx 0,44 - 0,65$ при бурении в песчаниках.

Теперь определим зависимость для расчета реализованной в процессе разрушения горных пород мощности N . Для одного оборота коронки вокруг своей оси (оборот мысленно развернем на плоскость, проходящую через эту ось), имеем:

$$\operatorname{tg} \alpha = C_{oc} / F_o, \quad (12)$$

$$\operatorname{tg} \beta = v_m / v_o, \quad (13)$$

где α, β – угол между векторами окружной F_o и результирующей F^Σ сил и векторами окружной v_o и результирующей v скоростей движения корпуса ПРИ соответственно.

После подстановки (9) в (12) и преобразований имеем:

$$\alpha = \operatorname{arctg}(1 / \mu). \quad (14)$$

Домножим числитель и знаменатель дроби в (13) на величину t_1 – время, необходимое для поворота коронки вокруг своей продольной оси на один оборот:

$$\operatorname{tg} \beta = v_m / v_o = v_m \cdot t_1 / (v_o \cdot t_1) = h / (\pi \cdot D), \quad (15)$$

где h – углубка коронки за один оборот вокруг продольной оси.

Умножим числитель и знаменатель дроби в (15) на величину n – частоту вращения ПРИ вокруг своей продольной оси:

$$\operatorname{tg} \beta = v_m / v_o = h \cdot n / (\pi \cdot D \cdot n) = v_m / (\pi \cdot D \cdot n). \quad (16)$$

$$\beta = \operatorname{arctg}(v_m / (\pi \cdot D \cdot n)). \quad (17)$$

Тогда векторные суммы скоростей движения и сил определяются следующим образом:

$$v = (v_m^2 + v_o^2)^{0,5} = (v_m^2 + \pi^2 \cdot D^2 \cdot n^2)^{0,5}, \quad (18)$$

$$F^\Sigma = (C_{oc}^2 + F_o^2)^{0,5} = (C_{oc}^2 + \mu^2 \cdot C_{oc}^2)^{0,5} = C_{oc} \cdot (1 + \mu^2)^{0,5}. \quad (19)$$

Проекция F результирующей силы F^Σ на направление вектора скорости v :

$$F = F^\Sigma \cdot \cos(\alpha - \beta). \quad (20)$$

После совместного решения (1), (14), (17), (18) – (20) и преобразований, окончательно имеем:

$$N = C_{oc} \cdot ((1 + \mu^2) \cdot (v_m^2 + \pi^2 \cdot D^2 \cdot n^2))^{0,5} \cdot \cos(\operatorname{arctg}(1/\mu) - \operatorname{arctg}(v_m/(\pi \cdot D \cdot n))). \quad (21)$$

Анализ полученной зависимости (21) показывает: чем выше значения параметров C_{oc} , n и v_m , тем мощность N , затрачиваемая на разрушение горных пород забоя скважины, выше.

Рассмотрим сравнительный пример расчета значений энергозатрат на разрушение забоя скважины алмазной буровой коронкой по полученной зависимости (21) и рекомендованной во многих работах иной формуле. Примем: $C_{oc} = 12$ кН; $\mu = 0,38$; $v_m = 2$ м/с; $D = D_{cp} = (D_n + D_v) / 2 = (59 + 42) / 2 = 50,5$ мм; $n = 1200$ об/мин. В соответствии с [1, 13, 15]:

$$N = 2 \cdot 10^{-4} \cdot C_{oc} \cdot D_{cp} \cdot n, \quad (22)$$

где размерности параметров следующие: N кВт, C_{oc} даН, D_{cp} м, n об/мин.

По (22), получим: $N = 2 \cdot 10^{-4} \cdot 1200 \cdot 0,0505 \cdot 1200 = 14,544$ кВт = 14544 Вт.

По (21), имеем: $N = 12000 \cdot ((1 + 0,38^2) \cdot ((5,56 \cdot 10^{-4})^2 + \pi^2 \cdot 0,0505^2 \cdot 20^2))^{0,5} \cdot \cos(\operatorname{arctg}(1 / 0,38) - \operatorname{arctg}(5,56 \cdot 10^{-4} / (\pi \cdot 0,0505 \cdot 20))) = 13532$ Вт.

Разница рассчитанных значений мощностей составляет при выбранных значениях параметров 1012 Вт. Формула (22), по сравнению с (21), приводит к завышению значения мощности на 7,5%.

Совместный анализ (21) и (22) показывает следующее:

- формула (22), по сравнению с (21), во всех случаях приводит к завышенным (до 10%) значениям мощности;
- чем меньше значения v_m и n , тем выше разница значений мощностей, определяемых по (21) и (22).

Таким образом, проведенные расчеты свидетельствуют о работоспособности полученной зависимости (21). Поскольку зависимость (21), в отличие от (22), отражает механику процесса передачи потоков энергии на забой скважины, непосредственно учитывает все взаимонезависимые параметры (включая механическую скорость бурения), определяющие величину мощности, то ее можно рекомендовать для более корректного расчета энергозатрат на разрушение горных пород забоя скважины.

Для оценки работы механической системы, состоящей из последовательно соединенных m -элементов и не имеющей промежуточных отводов и подводов энергии (то есть, системы с одним входом и одним выходом), используется понятие КПД системы, или общего КПД η [2, 3, 11]:

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \dots \cdot \eta_m = \prod_{i=1}^m \eta_i \quad (23)$$

где η – механический КПД системы; m – число последовательно соединенных элементов системы; i – порядковый номер элемента, $i = 1, 2, 3, \dots, m$; $\prod_{i=1}^m \eta_i$ – последовательное произведение [4] i -ых значений КПД от $i = 1$ до $i = m$.

Как показано выше, для оценки эффективности работы ПРИ может использоваться величина КПД его работы.

В соответствии с (5) и (21), имеем:

$$\eta_3 = C_{oc} \cdot ((1 + \mu^2) \cdot (v_m^2 + \pi^2 \cdot D^2 \cdot n^2))^{0.5} \cdot \cos(\arctg(1/\mu) - \arctg(v_m/(\pi \cdot D \cdot n))) / N_{п.} \quad (24)$$

Для оценки энергопроводных свойств колонн бурильных труб в [9; 10] предложено использовать понятие КПД работы бурильной колонны:

$$\eta_k = N_{п.} / (N_{хв} + N_{доп} + N), \quad (25)$$

где $N_{хв}$ – мощность, расходуемая на холостое вращение колонны бурильных труб; $N_{доп}$ – дополнительная мощность, затрачиваемая на вращение сжатой части колонны бурильных труб, которой создается осевая нагрузка на ПРИ.

Таким образом, применительно к системе «приводящий двигатель буровой установки – ПРИ» можно записать:

$$\eta = N_{вых} / N_{вх} = N / N_{вх} = \eta_{дв} \cdot \eta_{бу} \cdot \eta_k \cdot \eta_3, \quad (26)$$

где $N_{вых}$ – мощность при выходе из коронки, $N_{вых} = N$; $N_{вх}$ – мощность при входе в приводящий двигатель, т. е., мощность, затрачиваемая на работу приводящего двигателя; $\eta_{дв}$ – КПД работы приводящего двигателя; $\eta_{бу}$ – КПД работы буровой установки.

Для бурения скважин характерны низкие значения общего КПД η : чем глубже скважина, тем меньше величина КПД.

Особенностью систем, состоящих из последовательно соединенных элементов, является разная степень влияния конкретного места (в цепи элементов) затрат или экономии энергии на величину общих энергозатрат [2, 3]. Поясним сказанное следующим условным (но возможным для глубокой геолого-разведочной скважины в действительности) примером.

Пусть $\eta = N / N_{вх} = 0,02$, $N = 1$ кВт. Тогда, в соответствии с (26), $N_{вх} = N / \eta = 1 / 0,02 = 50$ кВт. Пример показывает, что для энергозатрат (в единицу времени) на разрушение горных пород забоя скважины величиной в 1 кВт необходимо на поверхности израсходовать 50 кВт. Справедливо и обратное: экономия при работе буровой коронки, например, 0,5 кВт (при условии сохранения высоких показателей углубки скважины и при $\eta \approx idem$) приведет на поверхности к экономии 25 кВт ($N_{вх} = N / \eta = (1 - 0,5) / 0,02 = 25$ кВт). Следовательно, экономия энергии, расходуемой на вращение призабойных компоновок буровых снарядов (колонковых наборов,

включая ПРИ, центраторов, расширителей, гидро- и пневмоударных машин, забойных двигателей, эжекторных снарядов и др.) существенно выгоднее экономии энергии поверхностного бурового оборудования.

Рассмотренной закономерностью объясняется возможность регистрации энергетически слабых призабойных явлений (срыв керна, зашламование забоя скважины, износ коронки и др.) по показаниям мощности на поверхности. По этой же причине становится понятной важность повышения точности зависимостей, используемых при расчете забойной мощности. Неточность расчетных значений забойной мощности в сравнении с действительными может привести к существенной ошибке при заверке рассчитываемых общих энергозатрат фактическим поверхностным измерением.

Библиографический список

1. Башкатов Д.Н. Разрушение горных пород при бурении: учебное пособие / Д.Н. Башкатов. - М.: МГРИ-РГГРУ, 2012. - 208 с.
2. Бродянский В.М. Эксергетический метод термодинамического анализа / В.М. Бродянский. - М.: Энергия, 1973. - 372 с.
3. Бродянский В.М. Эксергетический метод и его применение / В.М. Бродянский, В. Фратшер, К. Михалек; под ред. В.М. Бродянского. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 288 с.
4. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. - [13-е изд., испр.]. - М.: Наука, 1986. - 544 с.
5. Гухман А.А. Обобщенный анализ / А.А. Гухман, А.А. Зайцев. - М.: Факториал, 1998. - 304 с.
6. Кардыш В.Г. Энергоемкость бурения геологоразведочных скважин / В.Г. Кардыш, Б.В. Мурзаков, А.С. Окмянский. - М.: Недра, 1984. - 200 с.
7. Кирсанов А.Н. Буровые машины и механизмы / А.Н. Кирсанов, В.П. Зиненко, В.Г. Кардыш. - М.: Недра, 1981. - 448 с.
8. Комаров М.А. Применение теории подобия и размерности в бурении. Обзор. Математические методы исследований в геологии / М.А. Комаров. - М.: ВИЭМС, 1978. - 31 с.
9. Куликов В.В. Коэффициент полезного действия работы колонны бурильных труб / В.В. Куликов, А.А. Тунгусов, С.А. Тунгусов // VII Международная научно-практическая конференция «Наука и новейшие технологии при поисках, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых»: Материалы конференции. - М.: МГРИ-РГГРУ, 2012. С.7 – 8.
10. Куликов В.В. Оценка энергопроводных свойств колонн бурильных труб по величине коэффициента полезного действия / В.В. Куликов, А.А. Тунгусов, С.А. Тунгусов // Разведка и охрана недр. - 2012. - №12. - С. 39 – 42.
11. Кухлинг Х. Справочник по физике / Х. Кухлинг; пер. с нем. - 2-е изд. - М.: Мир, 1985. - 520 с.
12. Люкшин В.С. Теория винтовых поверхностей в проектировании режущих инструментов / В.С. Люкшин. - М.: Машиностроение, 1967. - 372 с.
13. Михайлова Н.Д. Техническое проектирование колонкового бурения / Н.Д. Михайлова. - М.: Недра, 1985. - 200 с.
14. Сахаров А.В. Коэффициент полезного действия процесса разрушения при бурении алмазными коронками / А.В. Сахаров, Л.К. Горшков // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. - 1990. - №5. - С. 129 – 132.
15. Технология и техника разведочного бурения / [Ф.А. Шамшев, С.Н. Тараканов, Б.Б. Кудряшов и др.]. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Недра, 1983. - 565 с.
16. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента / Х. Шенк; пер. с англ. - М.: Мир, 1972. - 381 с.
17. Яворский Б.М. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов / Б.М. Яворский, А.А. Детлаф. - 2-е изд., испр. - М.: Наука, 1964. - 848 с.

Надійшла до редакції 07.03.2013

В. В. Куликов

Російський державний геологорозвідувальний університет імені Серго Орджонікідзе (МГПІ-РГГРУ), Москва, Росія

Витрати потужності на руйнування вибою геологорозвідувальної свердловини

Встановлено залежність, що дозволяє більш точно і обґрунтовано розрахувати значення потужності, що витрачається на руйнування гірських порід буровою коронкою. Наведено приклад розрахунку

потужності. Як показник ефективності процесу передачі енергії на забій свердловини використаний коефіцієнт корисної дії.

Ключові слова : потужність, бурова коронка, коефіцієнт корисної дії.

V. Kulikov

Russian State Geological Prospecting University n. a. Sergo Ordzhonikidze (MGRI-RGGRU), Moscow, Russia

Energy consumption at the bottom of exploration wells

We obtained a dependence which allows making a more accurate calculation of power consumed for the destruction of rock with a drill bit. An example of power calculation is provided. Efficiency coefficient is used as the indicator of energy transfer effectiveness.

Keywords: power; strength; speed; efficiency; drill bit.