По существующим правилам при строительстве в районах, где находятся горные выработки и их выходы на поверхность, необходимо выполнять комплекс изыскательских работ по определению точного расположения пустот в выработанном пространстве на глубине до 80 м [10]. Из этого следует, что глубинность применяющихся геофизических методов для обнаружения выработок должна быть более 80 м. Для метода ВЭЗ это означает, что разносы питающих электродов *AB* должны составлять не менее 320 м, что в условиях городской застройки может оказаться проблематичным, даже не говоря о заземлении. Для сейсморазведки методом преломленных волн (МПВ) фланговый вынос пунктов возбуждения для данной глубины исследований должен быть не менее 200 м, что может привести к недостатку мощности традиционных источников сейсмических колебаний, используемых при инженерных изысканиях. Другие «глубинные» геофизические методы, к числу которых можно отнести и обычные АМТЗ, имеют ограниченное развитие и крайне редко применяются на урбанизированных территориях. Однако вариант аудиомагнитотеллурических экспресс зондирований со стелющейся электрической линией может послужить реальной альтернативой остальным методам обнаружения подземных пустот на больших глубинах.

Выводы

Электроразведочные работы экспрессным методом АМТЗ показали высокую эффективность при изучении инженерно-геологических условий рудных месторождений на различных стадиях освоения. Электромагнитные помехи техногенного происхождения, являющиеся основной проблемой при изучении естественных магнитотеллурических полей можно отфильтровать современными аппаратными и программными средствами. Сопоставление результатов аудиомагнитотеллурических зондирований с имеющейся геолого-геофизической информацией показало хорошую сходимость как в случае двухмерной количественной инверсии АМТЗ, так и в случае одномерной полуколичественной интерпретации по эффективной продольной проводимости.

Работа выполнена при частичной поддержке программы фундаментальных исследований УрО РАН, проект №15-2-5-31.

Автор выражает благодарность сотрудникам Института геофизики УрО РАН Горшкову В.Ю. и Маликову А.В. за полевые материалы по ВЭЗ, а также Климшину А.В. за предоставление инженерно-геологической информации по Волковскому руднику.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Авдонин, В.В.* Месторождения металлических полезных ископаемых / В.В. Авдонин, В.Е. Бойцов, В.М. Григорьев и др. — М.: Академический Проект, 2005. — 720 с.
2. *Бобачев, А.А.* Программа IPI2Win. Руководство пользователя / А.А. Бобачев, И.Н. Модин, В.А. Шевнин — М.: МГУ, 2003. — 25 с.
3. *Давыдов, В.А.* Аудиомагнитотеллурическая съемка в движении / В.А. Давыдов // Геофизика. — 2014. — № 2. — С. 47–53.
4. *Давыдов, В.А.* Измерительная аппаратура ОМАР-2 для электромагнитных методов исследований / В.А. Давыдов // Уральский геофизический вестник. — 2015. — № 1 (25). — С. 37–41.
5. *Давыдов, В.А.* Эквивалентные схемы и основные характеристики различных датчиков электромагнитных сигналов в широкой полосе частот / В.А. Давыдов // Уральский геофизический вестник. — 2014. — № 1 (23). — С. 46–54.
6. *Давыдов, В.А.* Электроразведка методом радиокип в сверхдлинноволновой модификации с использованием радиостанций системы дальней навигации РСДН-20 («Альфа») / В.А. Давыдов // Инженерные изыскания. — 2014. — № 2. — С. 65–70.
7. *Инструкция* по электроразведке. — Л.: Недра, 1984. — 352 с.
8. *Каминский, А.Е.* Программа интерпретации магнитотеллурических зондирований ZondMT2d. Руководство пользователя / А.Е. Каминский. — СПб.: Zond Software, 2006. — 22 с.
9. *Сазонов, В.Н.* Месторождения золота Урала / В.Н. Сазонов, В.Н. Огородников, В.А. Коротеев и др. — Екатеринбург: УГГГА, 1999. — 570 с.
10. *СНиП 2.01.09-91.* Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах. — М.: Госстрой СССР, 1992.

© Давыдов В.А., 2016

Давыдов Вадим Анатольевич // davyde@yandex.ru

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 622.24

Склянов В.И. (ЧОУ ДПО «Корпоративный университет «Норильский никель»)

АНАЛИЗ ЗАТРАТ МОЩНОСТИ НА ВРАЩЕНИЕ БУРИЛЬНОЙ КОЛОННЫ, ОСНАЩЕННОЙ РОТОРНО-МУЛЬТИПЛИКАТОРНЫМ БУРОМ

Проведен сравнительный анализ затрат передаваемой мощности от бурового станка к породам забоя с использованием роторно-мультипликаторного бура и без него при высокооборотном алмазном бурении глубоких скважин. ***Ключевые слова:*** *роторно-мультипликаторный бур, высокооборотное алмазное бурение, энергоемкость, породоразрушающий инструмент.*

Sklyanov V.I. (Corporate University «Norilsk Nickel»)

THE COST ANALYSIS FOR POWER DRILL STRING ROTATION, EQUIPPED WITH ROTOR MULTIPLIER BORER

The comparative analysis conducted of the costs of the transmission power of the drilling rig to the bottom rocks with rotary drill bit multiplier and without it at high-diamond drilling of deep wells. ***Key words:*** *rotary drill bit multiplier, the high speed diamond drilling, power consumption, rock-cutting tool.*

Энергоемкость процесса бурения характеризует эффективность использования мощности, т.е. объем полезной работы, выполненной в течение определенного времени при данной мощности привода. Она является одним из критериев оценки целесообразности технологических и технических мероприятий, влияю-

щих на баланс расходования мощности, полноту использования мощности привода и достигнутую скорость бурения.

Характер и степень влияния различных факторов на затраты мощности оценивают по-разному, однако очевидно, что дифференцированный учет каждого из факторов, связанный с конструкцией коронки и свойствами породы, затрудняет применение формул и лишает их универсальности. Вместе с тем установлена четкая зависимость затрат мощности от показателей бурения, в частности, от механической скорости. Следовательно, необходимо, чтобы формула затрат мощности на работу породоразрушающего инструмента учитывала не отдельные параметры конструкции и породы, а также комплексные показатели, которые отражали бы их суммарное влияние на взаимосвязь эффективности бурения и сопротивления перемещению коронки относительно забоя. Было установлено, что таким показателем является углубление за один оборот.

С учетом влияния на затраты мощности ширины и формы забоя, вида промывочной жидкости и роли расширителя формула затрат мощности на забое для алмазного высокочастотного бурения примет вид [4]:

$$N_3 = 2.6 \cdot 10^{-8} k_1 k_2 k_3 (\mu + A' l \Delta v)(D_н + D_в) P_{ос} n,$$

где N_3 — мощность, затрачиваемая на забое скважины, кВт; k_1 — коэффициент, учитывающий влияние типа промывочной жидкости (для воды $k_1 = 1{,}0$, для эмульсионного раствора 0,75); k_2 — коэффициент, учитывающий влияние алмазных расширителей ($k_2 = 1{,}2$); k_3 — коэффициент, учитывающий влияние забоя ступенчатой формы ($k_3 = (n + 1) / 2n$, где n — число ступеней); μ — коэффициент, характеризующий трение породоразрушающего инструмента о породу; A' — коэффициент, учитывающий удельные затраты мощности на разрушение породы, на единицу длины контакта поперечного сечения коронки с забоем; l — длина линии контакта коронки с забоем в поперечном сечении, мм (l — для плоского поперечного сечения забоя равна его ширине T, для закругленного $l = \pi T / 2$); Δv — углубление коронки за один оборот, мм/об ($\Delta v = 1000 v_м / 60 n = 16{,}7 v_м / n$, где $v_м$ — механическая скорость, м/ч); $D_н$, $D_в$ — наружний и внутренний диаметр коронки, мм; $P_{ос}$ — осевая нагрузка, кг; n — частота вращения, мин$^{-1}$.

После проведения соответствующих расчетов [2, 3, 5] была выведена зависимость расхода мощности от частоты вращения для бурения алмазной коронкой К-16 с комплексом КССК-76.

Анализируя полученный график (рис. 1), а также данные ВИТР [1], можно сделать следующий вывод: для расчета РМБ (забойного мультипликатора) [6] для скважины диаметром 76 мм необходимо иметь максимально допустимую передаваемую мощность не менее 20 кВт, а крутящий момент на тихоходном валу не менее 500 Н·м.

Затраты мощности в самом РМБ при преобразовании и передаче механической энергии от бурильных труб к алмазной коронке будут равны:

$$N_{зм} = N_з / \eta - N_з,$$

где η — КПД забойного мультипликатора.

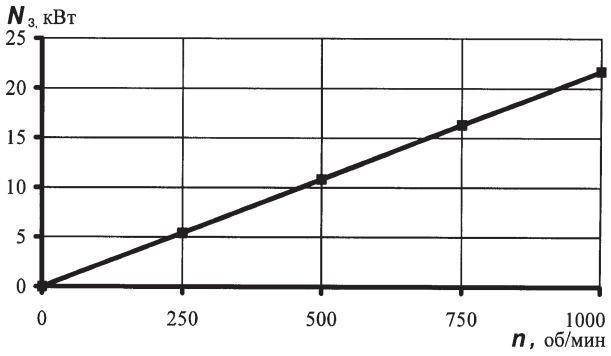

Рис. 1. Зависимость забойной мощности $N_з$ от частоты вращения n при бурении с комплексом КССК-76 при осевой нагрузке на алмазную коронку К-16 $P_{ос}$ = 20 кН

Энергоемкость вращения бурильных труб связана с характером их движения в скважине и зависит от:

1) формы изгиба бурильной колонны, потерявшей устойчивость под действием внешних сил (осевой нагрузки, центробежных сил, крутящего момента);

2) характера вращения бурильной колонны при бурении;

3) способа перемещения бурильной колонны по стенкам скважины;

4) характера и интенсивности вибраций бурильной колонны;

5) зависимости характера вращения бурильных колонн от их сжатия или растяжения, осевых сил, прямолинейности бурильных труб и соосности соединений, а также от радиальных зазоров и состояния ствола скважины.

По всем этим вопросам имеются различные точки зрения, основанные на теоретическом анализе или результатах экспериментальных наблюдений в стендовых и производственных условиях.

С целью получения экспериментальных данных о затратах мощности на вращение бурильных труб при высокооборотном бурении с частотой до 3000 мин$^{-1}$ и исследования влияния более широкого круга факторов на затраты мощности в СКБ ВПО «Союзгеотехника» были проведены специальные экспериментальные исследования и была выведена формула затрат мощности на вращение бурильной колонны, позволяющая учитывать 14 факторов, влияющих на затраты мощности [3]:

$$N_{б.т.} = k_{см} k_{скв} k_м \left[1{,}6 \cdot 10^{-8} k_и k_з \frac{0{,}2 + r''}{1 + 1{,}3 \cdot 10^{-2} \delta} (0{,}9 + \right.$$

$$\left. + 0{,}02\delta) \frac{qD}{(1000EI)^{0{,}16}} n^{1{,}85} L^{0{,}75} (1 + 0{,}44\cos\theta) + 2 \cdot 10^{-8} \delta n P_{ос} \right]$$

где $N_{б.т.}$ — затраты мощности на вращение бурильных труб, кВт; $k_{см}$ — коэффициент, учитывающий влияние антивибрационной смазки или эмульсионного раствора, $k_{см} = 0{,}6$; для воды $k_{см} = 1{,}0$; для глинистого раствора $k_{см} = 1{,}2$; при продувке воздухом $k_{см} = 1{,}5$; $k_{скв}$ — коэффициент, учитывающий влияние характера стенок скважины; в нормальном геологическом разрезе $k_{скв} = 1$, в обсадных трубах $k_{скв} = 0{,}5$, (в осложненных геологических разрезах, представленных трещиноватыми, разрушенными или кавернозными породами, $k_{скв}$ может

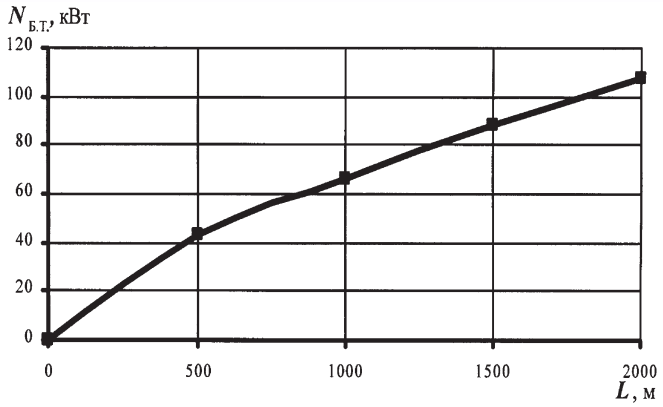

Рис. 2. Зависимость мощности, затрачиваемой на вращение бурильных труб КССК-76 $N_{б.т}$ от глубины скважины L при осевой нагрузке на алмазную коронку К-16 $P_{ос}$ = 20 кН и частоты вращения n = 1000 об/мин

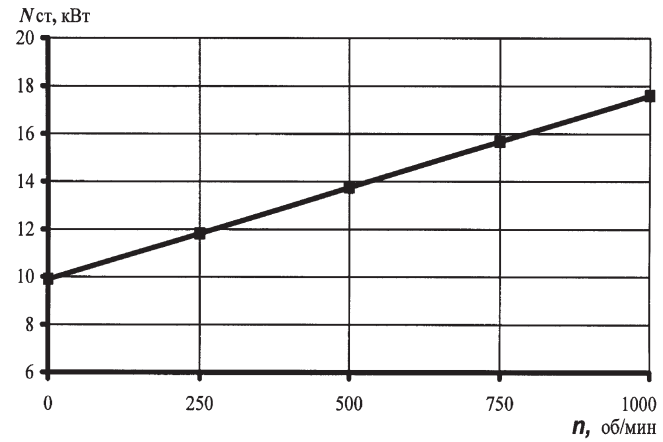

Рис. 3. График зависимости потерь мощности $N_{ст}$ в станке ЗИФ-1200МР от частоты вращения бурильных труб n

достигать 1,5–2,0, однако в таких разрезах не рекомендуется применять большие частоты вращения бурового снаряда); $k_м$ — коэффициент, учитывающий влияние материала труб на трение их о стенки скважины (для стальных труб $k_м$ = 1,0, для легкосплавных 0,75); $k_и$ — коэффициент, учитывающий влияние интенсивности искривления скважин (по данным МГРИ, значение этого коэффициента может быть определено по формуле $k_и = 1 + 60\ \theta$, где θ — интенсивность искривления скважин, градус/м); $k_з$ — коэффициент, учитывающий влияние замковых соединений, $k_з$ = 1,3; r'' — кривизна труб в свече, учитывающая собственную кривизну трубы и несоосность соединений, мм/м (для труб повышенного качества с ниппельным соединением или соединением труба в трубу r'' = 0,9 мм/м, для труб ниппельного соединения, изготовленных в заводских условиях, 1,2 мм/м и для труб, нарезанных в мастерских экспедиций, 1.5 мм/м; δ — зазор между бурильными трубами и стенками скважины, мм; $\delta = (D - d) / 2$; q — масса 1 м колонны бурильных труб в жидкости, кг/м; D — диаметр скважины, мм; $E\,I$ — жесткость труб на изгиб, 10^{-3} Па·м^4; n — частота вращения, мин$^{-1}$; L — длина колонны бурильных труб, м; θ — угол наклона скважины к горизонтали, град.; $P_{ос}$ — осевая нагрузка, кН.

По этой формуле были проведены расчеты затрат мощности на вращение бурильных труб при бурении глубоких скважин комплексами КССК-76 для условий района работ ПО «Норильскгеология» и получен график зависимости мощности $N_{б.т.}$, затрачиваемой на вращение бурильных труб КССК-76 от глубины скважины L при осевой нагрузке на алмазную коронку К-16 $P_{ос}$ = 20 кН и частоты вращения n = 1000 об/мин (рис. 2).

Установлено [4], что потери мощности в станке $N_{ст}$ зависят от передаваемых усилий, которые воздействуют на элементы трансмиссии неоднозначно. При увеличении крутящих моментов в шестеренчатых передачах существенно повышаются потери на трение на контакте зубьев, что способствует росту потерь мощности в станке. Часть энергии затрачивается на преодоление сил трения в механических передачах, фрикционе, подшипниках, а также на перемешивание масла в коробке передач и других редукторах, если они имеют жидкую или консистентную смазку, в уплотнении и подшипнике вертлюгсальника ведущей трубы.

С учетом приведенных коэффициентов А и В потери мощности в станке составят:

$$N_{ст} = N_{дв}\,(0{,}18 + 1{,}4 \cdot 10^{-4}\, n),$$

где $N_{дв}$ — мощность от привода двигателя, кВт; N — частота вращения, мин$^{-1}$.

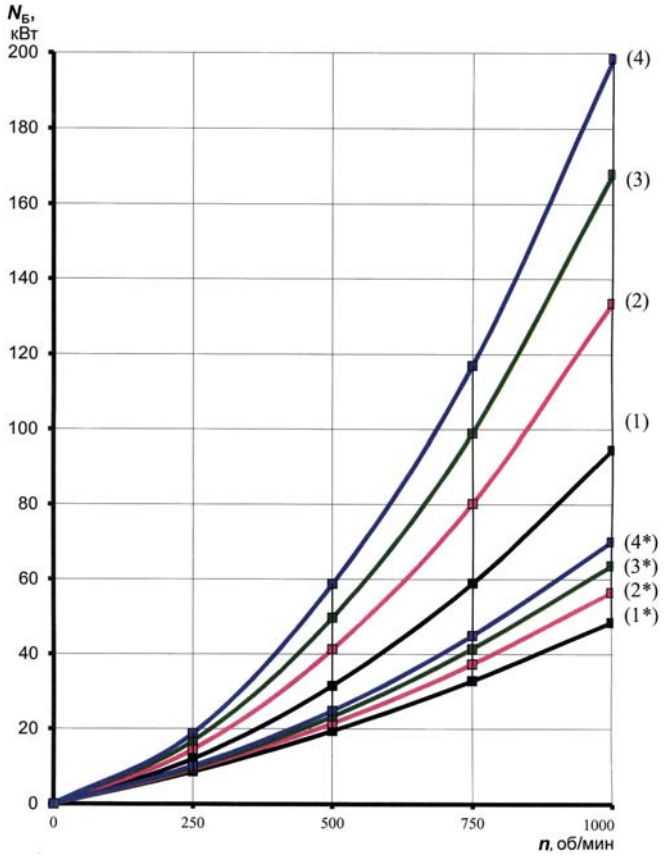

Рис. 4. Графики зависимости общей мощности $N_б$, затрачиваемой на бурение комплексом КССК-76 от частоты вращения n при осевой нагрузке на коронку К-16 $P_{ос}$ = 20 кН и глубине скважины L = 500 м (1), 1000 м (2), 1500 м (3), 2000 м (4) и соответственно с применением забойного мультипликатора (1*; 2*; 3*; 4*)

Коэффициент полезного действия буровых станков будет равен:

$$\eta = (0{,}82 - 1{,}4 \cdot 10^{-4} n) \cdot 100\ \%.$$

Из графика (рис. 3) видно, что с увеличением частоты вращения бурильных труб n потери мощности в станке возрастают, а коэффициент полезного действия буровых станков снижается (при n = 250 мин$^{-1}$ η = 0,785, а при n = 1000 мин$^{-1}$ η = 0,68).

Общие затраты мощности на бурение с применением РМБ забойного мультипликатора будут равны:

$$N_б = N_з + N_{з.м} + N_{б.т} + N_{ст}.$$

Переход с обычного бурения на бурение с применением РМБ позволит снизить затраты мощности на бурение на любой глубине, но наиболее рационально, начиная с глубины 400–500 м (рис. 4), когда наблюдается резкий рост затрат мощности на обычное бурение и в связи с этим происходит ограничение частоты вращения бурильной колонны. По данным бурения скважины НП-52 ПО «Норильскгеология», пробуренной до глубины 2560 м комплексом КССК-76 станком ЗИФ-1200 МР, частота вращения бурильной колонны не превышала 231 мин$^{-1}$ (3-я скорость станка) при крутящем моменте, достигавшем 0,9–1,0 кН·м и соответственно затрачиваемой мощности — до 24 кВт.

На основании проведенных экспериментально-теоретических исследований получены графики (рис. 4), по которым можно сделать вывод, что применение забойного мультипликатора с передаточным числом 2,33 позволит увеличить частоту вращения алмазной коронки до 800÷1000 мин$^{-1}$ при бурении скважин глубиной до 2000 м станками ЗИФ-1200МР, что соответственно повысит механическую скорость бурения и снизит энергоемкость бурения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Блинов, Г.А.* Техника и технология высокоскоростного бурения / Г.А. Блинов, Л.Г. Буркин, О.А. Володин и др. — М.: Недра, 1982. — 408 с.
2. *Блинов, Г.А.* Справочное руководство мастера геологоразведочного бурения / Г.А. Блинов, В.И. Васильев, Ю.В. Бакланов и др. — Л.: Недра, 1983. — 400 с.
3. *Григорьев В.В.* Энергетические затраты при бурении со съемными керноприемниками: Техника и технология геологоразведочных работ; организация производства. — М., ВИЭМС, 1976. — № 18. — С. 1–13.
4. *Кардыш, В.Г.* Энергоемкость бурения геологоразведочных скважин / В.Г. Кардыш, Б.В. Мурзаков, А.С. Окмянский. — М.: Недра, 1984. — 200 с.
6. *Минкин, Б.С.* Основные направления исследований и технических средств бурения снарядом со съемным керноприемником КССК-76 / Б.С. Минкин, А.М. Никаноров, О.В. Смирнов, С.А. Угаров // Методика и техника разведки. — 1981. — № 137. — С. 9–11.
7. *Склянов, В.И.* Забойный мультипликатор как средство реализации высокочастотного алмазного бурения глубоких геологоразведочных скважин // Разведка и охрана недр. — 2013. — № 5. — С. 53–56.

© Склянов В.И., 2016

Склянов Владимир Иванович // sklyanov_vi@mail.ru

УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКА

УДК 553.04; 553.046

Богуславский М.А. (МГУ им. М.В. Ломоносова)

ЦЕЛЕСООБРАЗНО ЛИ ВНЕДРЕНИЕ ПОНЯТИЯ «КРИТИЧЕСКОГО СЫРЬЯ» В РОССИИ?

Приводится взгляд на понятие «критического» минерального сырья в США и Британии. Рассматривается понятие стратегического и дефицитного минерального сырья в РФ. Обосновывается необходимость введения понятия «критического» минерального сырья в РФ. Рассматривается пример выделения из стратегических видов минерального сырья реально «дефицитных» видов для получения объективной картины потребностей МСБ РФ. ***Ключевые слова:*** *стратегическое минеральное сырье, дефицитное минеральное сырье, критическое минеральное сырье, МСБ РФ.*

Boguslavskiy M.A. (Moscow State University)

IS IT ADVISABLE TO IMPLEMENTATION OF THE CONCEPT OF «CRITICAL RAW MATERIALS» IN RUSSIA?

The view was shown in «critical» minerals in the US and Britain. The concept of strategic and scarce mineral resources in the Russian Federation. The necessity of introducing the concept of «critical» of mineral resources in the Russian Federation. For example of selection of the strategic minerals really «deficient» species to obtain an objective picture of Russian SME needs. ***Key words:*** *strategic minerals, scarce minerals, critical mineral raw materials, the Russian MSB RF.*

С развитием научно-технического прогресса изменился и продолжает меняться спектр используемых полезных ископаемых, а также отмечается сокращение потребления отдельных видов минерального сырья в сочетании с ростом других и появлением новых. При высокой обеспеченности России общими запасами большинства полезных ископаемых в стране имеется дефицит отдельных видов минерального сырья, потребность в которых не покрывается собственной добычей и удовлетворяется за счет импорта. Причинами этого являются отсутствие или неблагоприятное геолого-географическое размещение месторождений качественных руд, а также наличие технологических сложностей добычи, обогащения и переработки минерального сырья [2].

В Российской Федерации законодательно выделяется группа «особых» полезных ископаемых, названных стратегическими. Перечень стратегического минерального сырья представлен в Распоряжении правительства РФ от 16 января 1996 г. № 50-р. Также в различных документах встречается понятие «дефицитные виды минерального сырья» [3]. Однако понятие «дефицитные виды минерального сырья» является интуитивным.