УДК 622.23.051

© В. С. Исаков, д-р техн. наук, профессор

© Н. П. Чухряев, доцент

© Нгуен Зуй Тхань, аспирант

(Южно-Российский государственный
политехнический университет (НПИ)

им. М. И. Платова)

E-mail: kafedra_sdkm@mail.ru,

nguyenduythanh2211@gmail.com

DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-2-204-211

© V. S. Isakov, Dr. Sci. Tech., Professor

© N. P. Chukhryaev, Associate Professor

© Nguyen Duy Thanh, post-graduate student

(Platov South-Russian State

Polytechnic University (NPI))

E-mail: kafedra_sdkm@mail.ru,

nguyenduythanh2211@gmail.com

ОБОСНОВАНИЕ ВАРИАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ БУРОВЫХ АДАПТИВНЫХ РЕЖУЩИХ ДОЛОТ

JUSTIFICATION OF VARIABLE PARAMETERS OF ADAPTIVE CUTTING DRILL BITS

Обоснована целесообразность применения структурной адаптации режущих долот для работы по сложеноструктурированным слоистым горным породам с перемежающимися по крепости слоями. На породах предпочтительного бурения резанием (крепостью до 7) перспективным представляется не только система «режущее–шарошечное» (т. е. комбинированное долото), но и система «режущее–режущее». Сформулированные на основе анализа научных исследований и конструкторских разработок условия, определяющие адаптацию, позволили обосновать адаптируемые параметры режущих долот, их граничные значения и вариативность структур, получить обобщенную схему бурового режущего долота. Таким образом, адаптивные режущие долота в зависимости от внешних условий (крепости буруемой породы, особенностей залегания пласта и т. д.) обеспечивают в автоматическом режиме изменение своей структуры с целью оптимизации процесса бурения.

Ключевые слова: бурение, режущие долота, адаптивные структуры, слоистые породы, вариативные параметры.

The article substantiates the expediency of application of structural adaptation of the cutting bits for work on difficult-structured foliated rocks with layers intermittent by strength. On the rocks of the preferred drilling by cutting (with strength up to 7), not only the system of «cutting-roller cone» seems promising (i.e., the combined bit), but the «cutting-cutting» system as well. Being formulated on the basis of analysis of scientific research and design development the conditions that define adaptation, allowed to substantiate the adaptable parameters of the cutting bits and their limit values and variability of structures, to obtain a generalized scheme of the cutting drilling bit displays in the possible technical solutions. Thus, adaptive cutting bits depending on external conditions (the strength of drilled rock, features of the layer bedding, etc.) provide the change of its structure in automatic mode in order to optimize the drilling process.

Keywords: drilling, cutting bits, adaptive structures, foliated rock, variable parameters.

В различных отраслях техники — машиностроении, робототехнике, горной, легкой и текстильной промышленности, строительстве и коммунальном хозяйстве [1, 2] — широко распространены адаптивные механизмы, позволяющие вносить в работу машины элементы саморегулирования или самоорганизации за счет структуры самого механизма, а не только за счет системы управления.

Адаптация позволяет сохранять работоспособность технического объекта при изменениях внешней среды, характеристик технологического процесса и объекта обработки, саморегулировать технологические режимы, включая энергопотребление [2], и т. п. При изменении состояния технологического объекта, рабочего процесса конструкция исполнительного механизма, его структура обеспечивают выполнение функции

приспособления за счет перестройки закона движения ведомых звеньев и перераспределения силовых факторов. С точки зрения структуры такие механизмы обладают дополнительной степенью подвижности, которая компенсируется динамической связью через технологический процесс [1]. Таким образом, изменения параметров технологического процесса обуславливают автоматическую переналадку конструктивных или режимных параметров.

Структурная адаптация в буровых инструментах

Механизмы, образованные цепями с избыточными или недостающими поводками, не рассматривались в классической теории Л. В. Ассура, что отмечает ряд авторов [1, 2]. В дальнейшем В. В. Добровольский [3], А. Н. Дровников [2] и другие распространили принцип построения цепей, обоснованный Л. В. Асуром для нормальных кинематических цепей, на любые кинематические цепи.

Цепи, которые изменяют число степеней свободы при присоединении к основному механизму названы неассуровыми, положительными и отрицательными в зависимости от того, увеличивают они или уменьшают число степеней свободы и на сколько единиц [1]. Адаптивные цепи, входящие в состав неассуровых групп положительных порядков, как было сказано выше, обеспечивают приспособляемость движения звеньев к внешним факторам или технологическому процессу. Индифферентные, неассуровы группы отрицательных порядков имеют число степеней подвижности меньше, чем число ведущих звеньев. Индифферентность проявляется в невосприимчивости к величинам реакций замыкающих связей, невозможности передачи движения в каком-либо направлении и т. д. Такие механизмы рассмотрены в работах [4], [5] и др.

Применение как адаптивных, так и индифферентных механизмов целесообразно в первую очередь для машин, обеспечивающих технологические процессы со стохастически изменяемыми параметрами. Именно к таким процессам можно отнести бурение скважин и шпуров.

Как показывает отечественный и зарубежный опыт буровых работ, значительная часть разрабатываемых карьеров характеризуется слоистостью залеганием

горных пород с перемежающимися по крепости слоями, включая глинистые и песчаные прослойки. Выбор долота при этом производится по наиболее крепкой породе или предполагает извлечение и замену бурового инструмента, что существенно сказывается на эффективности и стоимости бурения. Именно эти обстоятельства являются определяющими для создания инструмента, приспособляющегося к условиям среды, способного изменять свои конструктивные и режимные параметры в зависимости от крепости буримой породы, т. е. адаптироваться к внешним условиям.

Одним из первых буровых инструментов, учитывающих условия среды и адаптирующих свою структуру в зависимости от крепости буримой породы, стал комбинированный [6]. Объединяя достоинства шарошечного бурения на крепких породах и режущего лезвийного — на мягких, такие инструменты становятся универсальными. Адаптация достигается за счет дополнительной подвижности лезвийного инструмента относительно шарошечного (рис. 1).

При увеличении крепости породы под действием усилия подачи упругий элемент сжимается, и лезвийное долото входит в корпус комбинированного инструмента. Твердый пласт разрушается шарошками, а лезвийная часть работает как вспомогательная, истирая днище забоя и способствуя бурению. При выходе на мягкие породы лезвийный инструмент под действием упругого элемента вновь становится лидирующим.

При очевидных достоинствах комбинированных долот следует отметить, что стоимость бурения 1 м скважины при значительных объемах мягких прослоек будет возрастать за счет как высокой стоимости комбинированного инструмента, так и перехода от шнекового способа удаления буровой мелочи к пневматическому или шнеко-пневматическому. Последний недостаток обусловлен большим коэффициентом заполнения забоя скважины телом долота.

Анализируя возможности рационального применения различных сочетаний разрушающих элементов долот, можно прийти к выводу о целесообразности применения не только системы «режущее–шарошечное», но и системы «режущее–режущее» на породах предпочтительного

Рис. 1. Схема комбинированного долота, адаптирующегося к внешним условиям

бурения резанием (крепостью до 7), например, с положительным и отрицательным передними углами резцов, с применением резцов разной прочности, что эффективно на тех же слоистых породах [7]. Кроме этого, современные долота в зависимости от внешней среды обладают различными конструктивными параметрами: формой и размерами рассечки, геометрией режущей кромки, величиной и формой опорной поверхности и т. д. Из этого следует, что вопрос об их адаптации требует проработки с различных точек зрения: обоснованности адаптируемых параметров, выявления их граничных и оптимальных значений, определения рациональных соотношений изменчивости структур, возможности и целесообразности конструктивной реализации, установления баланса экономической целесообразности и технической эффективности.

Вариативные параметры буровых режущих долот и возможности их адаптации к физико-механическим свойствам горных пород

Общая схема формирования адаптируемых параметров представлена на рис. 2.

Изменение величины, числа и расположения режущих элементов (опорной поверхности) при бурении трещиноватых пород освещено в работах [8–10] и многих других и реализовано за счет трех-четырех перьевых конструкций, винтовой формы долот, способствующей удалению буровой мелочи, или иных конструкций, предполагающих распределение режущих элементов по объему забоя. Например, корпус коронки НПИ-1

[8] имеет вид шестиступенчатого конусного шнека с двухзаходной правой спиралью. Многоопорный контакт режущих кромок коронки с забоем скважины обуславливает стабильную работу в трещиноватых породах, исключая заклинивание инструмента, а форма корпуса обеспечивает хороший отвод буровой мелочи из забоя к спирали шнека, хорошее центрирование коронки в забое. Аналогичную конструкцию имеет спиральный бур сплошного разрушения БС-376, представленный в работе [9]. Бур оснащен тремя спиральными лопастями, а расположение резцов обеспечивает распределение опорной поверхности по объему забоя. Усиленный сердечник и армированная твердым сплавом периферийная часть лопастей способствуют увеличению надежности и долговечности инструмента, в то же время существенно увеличивая его стоимость. Преимущества трехперых неспиральных коронок с распределенными в объеме резцами типа БП-376, НПИ-6 и других, изложены в работах [9, 10]. Испытания буровых коронок с числом перьев более четырех [11] показали нецелесообразность их применения из-за малых свободных сечений для прохода мелочи, которая спрессовывается, ухудшения выдачи буримой породы к захватывающим виткам шнека и значительного снижения скорости бурения. При гидравлическом удалении продуктов разрушения из забоя сопротивление выходу мелочи также увеличивается.

Рис. 2. Формирование адаптируемых параметров

Неоднозначно представлены в литературе рекомендации по выбору величины концевой угла (угла конусности) режущего инструмента. В частности, теоретическими и экспериментальными исследованиями [12] подтверждено, что уменьшение величины концевой угла повышает скорость бурения и износостойкость лезвий инструмента, а ограничивающими факторами являются прочностные характеристики корпуса и условия удаления буровой мелочи. В работе [13] обосновывается, что при работе на мягких породах необходимо иметь минимальную высоту коронки, т. е. максимально приблизить шнек к зоне разрушения, что требует увеличения концевой угла. Таким образом, концевой угол может варьироваться в зависимости от крепости пород и режимных параметров бурения.

В некоторых работах, например [16], приведены сравнительные схемы резания и взаимного расположения режущих кромок резцов по диаметру и высоте. В работе [13] рекомендуется применение ступенчатой формы, облегчающей

разрушение породы и обеспечивающей «благоприятные условия работы резцов, так как блокированное резание переходит в полублокированное». Однако подобные задачи решались только для конкретных исследований или условий бурения и не носят системный характер.

Вопросом для обсуждения становится наличие сплошной или прерывистой режущей кромки [10]. Принципиально конструкция адаптивного долота может обеспечить изменение от сплошной режущей кромки при бурении по мягким, особенно абразивным породам, что предохраняет корпус долота от износа, до дискретного размещения резцов, с прерывистой режущей кромкой, позволяющей уменьшить расход твердого сплава, сократить площадь контакта лезвий с забоем, обеспечить увеличение удельного давления на забой для бурения по крепким породам [8, 10, 13, 16], а также использовать сменные унифицированные резцы.

Известно, что при разрушении забоя режущим способом в его центральной части преду-

считается наличие керна, где окружная скорость резания приближается к нулю. Большинство конструкций буровых режущих долот предполагает наличие рассечки в центральной части. Образующийся при этом керн разрушается под действием вибрации долота, сил трения и т. д. Саморазрушение керна определяется крепостью породы, ее трещиноватостью, неоднородностью структуры, что обуславливает выбор величины и формы рассечки. Общими рекомендациями [13] предусматривается для крепких пород цилиндрическая форма скалывающего типа и относительно меньшие диаметры рассечки, для мягких, рыхлых и трещиноватых — коническая форма режущего типа и увеличенные диаметры рассечки. Однако при бурении слоистых пород диаметр и форма рассечки выбираются из расчета бурения крепких пород. В этой связи авторами предлагалось буровое режущее долото [17], конструкцией которого предусматривается изменение формы и размера рассечки в зависимости от крепости буримого слоя. Схематично конструкция долота с адаптирующейся рассечкой представлена на рис. 3.

Лопасте долота выполнены подвижными относительно корпуса и удерживаются упругим элементом в положении рис. 3, а при бурении мягких пород, обеспечивая коническую форму и большой диаметр рассечки. При увеличении крепости породы сопротивление бурению возрастает и упругий элемент сжимается, лопасти долота поворачиваются относительно оси, преобразовывая форму рассечки в цилиндрическую с малым диаметром (рис. 3, б). Варьированием размеров рассечки, переходом от положительного к отрицательному переднему углу резцов достигается изменение удельного давления на забой. Кроме этого, увеличение или снижение удельного давления может быть достигнуто за счет других конструктивных решений [18].

Серьезной проблемой при бурении пород с неоднородной структурой залегания является смещение долота от оси скважины [19]. Стабилизации движения способствуют различные технические решения, обеспечивающие снижение искривления скважины в перемежающихся по крепости горных породах. Например, вращение ступеней долота в разные стороны [20] обеспечивает стабилизацию движения, а также

проходку трещиноватых пород. Кроме того, при работе долота износ его режущей кромки происходит неравномерно из-за различной скорости движения резцов: от минимальной вблизи оси вращения до максимальной на периферийных участках режущей кромки.

Повышение износостойкости режущей кромки долота за счет равномерности износа может быть обеспечено стабилизацией частоты вращения, повышением частоты вращения центральной и средней части режущей кромки долота, понижением частоты вращения периферийной части. Схема реализации таких долот представлена на рис. 4.

Внутренняя и внешняя штанги соединены между собой через планетарный редуктор, по-

Рис. 3. Схема долота с адаптирующейся рассечкой: а — положение при бурении мягких пород, б — более крепких пород

Рис. 4. Схема долота с противоположным вращением центральной и периферийной частей режущей кромки

звляющий регулировать скорость вращения центральной и периферийной частей режущей кромки, а также предохранить инструмент от поломки на трещиноватых породах.

Заключение

1. Разнообразие физико-механических свойств горных пород, условий бурения, аномальность залегания и слоистость исключают возможность создания универсального бурового инструмента и требуют разработки конструкций буровых долот применительно к конкретным условиям работы. Замена инструмента с извлечением его из скважины увеличивает продолжительность цикла бурения, трудоемкость и стоимость технологического процесса в целом.

2. При анализе вариативных параметров буровых режущих долот установлено, что приспособляемость структур в зависимости от изменения крепости бурильных пород может быть обеспечена за счет адаптивных (неассуровых, положительных порядков) механизмов и саморегулирующихся элементов самого бурового инструмента. Несмотря на имеющиеся технические решения, применение таких механизмов в буровом

инструменте систематично не рассматривалось.

3. Полученная обобщенная схема возможных адаптируемых параметров позволяет сформулировать общие требования к адаптивным долотам, предложить ряд конструктивных решений с учетом условий эксплуатации, проанализировать техническую совместимость вариативных параметров.

4. Разработка принципов создания адаптивных режущих долот, изменяющих свою структуру в зависимости от крепости породы, требует системных исследований по определению диапазонов варьирования параметров и их граничных значений, взаимного влияния адаптивных механизмов при изменении структуры, т. е. во время переходных процессов, а также выбора для последних оптимальных режимов бурения.

Библиографический список

1. Дровников А. Н. Неассуровы структуры механизмов и машин. Ростов н/Д: Пегас, 2000. 136 с.
2. Дровников А. Н. Адаптивные структуры механизмов и машин. Ростов н/Д: Изд-во Рост. ун-та, 1984. 128 с.
3. Добровольский В. В. Теория механизмов. М.: Гос. науч.-техн. изд-во машиностроительной литературы, 1951. 467 с.
4. Кожевников С. Н. Теория механизмов и машин. М.; Киев: Гос. науч.-техн. изд-во машиностроительной литературы, 1949. 448 с.
5. Дровников А. Н., Исаков В. С., Кузнецов С. А. и др. Механизмы с силовым замыканием контура. Новочеркасск: Новочеркасский политехн. ин-т, 1991. 141 с.
6. Кузнецов С. А., Дровников А. Н. Интегральные механизмы индифферентной структуры. Анализ и синтез. Новочеркасск: ЮРГТУ, 1999. 99 с.
7. Перетолчин В. А., Страбыкин Н. Н., Долгун Я. Н. Техника, технология и опыт бурения скважин на карьерах / под ред. В. А. Перетолчина. М.: Недра, 1993. 285 с.
8. Страбыкин Н. Н. Научное обоснование, выбор параметров и создание исполнительных органов буровых станков для карьеров Севера: автореф. ... дис. д-ра техн. наук. Екатеринбург, 1992. 40 с.
9. Михайлов В. Г., Симилейский М. Г., Шамшин В. Н. Новые коронки для шнекового бурения взрывных скважин // Горный журнал. 1963. № 12. С. 58–59.
10. Кособородов Ю. А., Крупко В. А., Дворниченко А. П. Породоразрушающий инструмент бурильных

и бурильно-крановых машин // Строительные и дорожные машины. 1990. № 3. С. 19–22.

11. Шамшин В. Н., Егоров В. И., Балашов В. Б., Чухряев Н. П. Унифицированный инструмент для бурения скважин (принципы создания, результаты внедрения) // Механизация строительства. 1983. № 3. С. 13–15.

12. Артемьев К. А., Гришин И. И., Матюшенко О. П. К выбору формы лезвия буровых коронок для мерзлого грунта // Строительные и дорожные машины. 1970. № 6. С. 4–6.

13. Шамшин В. Н., Чухряев Н. П., Исакова О. В. О новом подходе к трактовке явлений при вращательном бурении пород конусными инструментами. Новочеркасск: Юж.-Рос. гос. техн. ун-т, 1999. 14 с.

14. Перетолчин В. А., Коледин Ю. М., Страбыкин Н. Н. и др. О рациональных параметрах бурового инструмента для станков вращательного бурения шнекового типа // Изв. вузов. Горный журнал. 1965. № 6. С. 65–69.

15. Бугаев В. Г., Ереско С. П., Бугаев И. В. Выбор и обоснование конструктивных параметров бурового режущего инструмента для проходки скважин в мерзлых грунтах. Ч. II // Горное оборудование и электромеханика. 2013. № 2. С. 6–13.

16. Катанов Б. А. Основные направления совершенствования карьерных буровых долот // Вестник КузГТУ. 2005. № 1. С. 51–53.

17. Патент РФ № 2005121113/03, 05.07.2005. Чухряев Н. П., Исаков В. С., Шамшин В. Н., Камирьян М. В., Ключенко А. Ю. Буровое режущее долото // Патент России № 2300621. 2007. Бюл. № 16.

18. Гилев А. В., Мишхожев Х. М. Перспективы применения модифицированных долот режуще-вращательного действия на открытых горных работах // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 1997. № 5. С. 138–139.

19. Нескоромных В. В. Направленное бурение и основы кернометрии. Красноярск: Изд-во СФУ, 2012. 328 с.

20. Третьяк А. Я., Чихоткин В. Ф., Литкевич Ю. Ф., Асеева А. Е. Двухъярусное долото режущего типа // Интервал. 2006. № 1. С. 36–39.

References

1. Drovnikov A. N. *Neassurovy struktury mekhanizmov i mashin* [Non-assur structures of mechanisms and machines]. Rostov-on-Don, Pegas Publ., 2000, 136 p.

2. Drovnikov A. N. *Adaptivnye struktury mekhanizmov i mashin* [Adaptive structures of mechanisms and cars]. Rostov-on-Don, Rostov University Publ., 1984, 128 p.

3. Dobrovolskiy V. V. *Teoriya mekhanizmov* [Theory of mechanisms]. Moscow, Gos. nauch.-tekhn. izd-vo mashinostroitel'noy lit. Publ., 1951, 467 p.

4. Kozhevnikov S. N. *Teoriya mekhanizmov i mashin* [Theory of mechanisms and cars]. Moscow, Kiev. Gos. nauch.-tekhn. izd-vo mashinostroitel'noy lit. Publ., 1949, 448 p.

5. Drovnikov A. N., et al. *Mekhanizmy s silovym замыканием контура* [Mechanisms with power short circuit of the contour]. Novocherkassk, Novocherkassk Politekh. Institute Publ., 1991, 141 p.

6. Kuznetsov S. A., Drovnikov A. N. *Integral'nye mekhanizmy indifferentnoy struktury. Analiz i sintez* [Integrated mechanisms of indifferent structure. Analysis and synthesis]. Novocherkassk, YuRGU Publ., 1999, 99 p.

7. Peretolchin V. A., Strabykin N. N., Dolgun Ya. N. *Tekhnika, tekhnologiya i opyt bureniya skvazhin na kar'erakh* [Engineering, technology and experience of well-drilling on pits]. Ed. by Peretolchin V. A. Moscow, Nedra Publ., 1993, 285 p.

8. Strabykin N. N. *Nauchnoe obosnovanie, vybor parametrov i sozdanie ispolnitel'nykh organov burovyykh stankov dlya kar'rov Severa: avtoref. diss. dokt. tekhn. nauk* [Scientific justification, selection of parameters and creation of executive bodies of drilling rigs for North pits. Author's thesis of PhD in Sci. Tech. diss.]. Ekaterinburg, 1992, 40 p.

9. Mikhaylov V. G., Simileyskiy M. G., Shamshin V. N. *Novye koronki dlya shnekovogo bureniya vzryvnykh skvazhin* [New crowns for auger drilling of explosive wells]. *Gornyy zhurnal – Mining Journal*, 1963, no. 12, pp. 58–59.

10. Kosoborodov Yu. A., Krupko V. A., Dvornichenko A. P. *Porodorazrushayushchiy instrument buril'nykh i buril'no-kranovykh mashin* [Rock cutting tool of boring and boring and crane machines]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny – Construction and road building machines*, 1990, no. 3, pp. 19–22.

11. Shamshin V. N., Egorov V. I., Balashov V. B., Chukhryaev N. P. *Unifitsirovanny instrument dlya bureniya skvazhin (printsipy sozdaniya, rezul'taty vnedreniya)* [Unified tool for well-drilling (the principles of creation, results of introduction)]. *Mekhanizatsiya stroitel'stva – Construction Mechanization*, 1983, no. 3, pp. 13–15.

12. Artemev K. A., Grishnin I. I., Matyushenko O. P. *K vyboru formy lezviya burovyykh koronok dlya merzlogo grunta* [To the choice of a form of the drill bits edge for frozen soil]. *Stroitel'nye i Dorozhnye Mashiny – Construction and Road Building Machines*, 1970, no. 6, pp. 4–6.

13. Shamshin V. N., Chukhryaev N. P., Isakova O. V. *O novom podkhode k traktovke yavleniy pri vrashchatel'nom*

burenii porod konusnymi instrumentami [About new approach to interpretation of the phenomena at rotary drilling of breeds conical tools]. Novocherkassk, YuRG TU Publ., 1999, 14 p.

14. Peretolchin V. A., et al. *Oratsional'nykh parametrakh burovogo instrumenta dlya stankov vrashchatel'nogo bureniya shnekovogo tipa* [About rational parameters of the boring tool for machines of rotary drilling of conveyor screw type]. *Izv. vuzov. Gornyy zhurnal – News of Higher schools. Mining Journal*, 1965, no. 6, pp. 65–69.

15. Bugaev V. G., Epesko S. P., Bugaev I. V. *Vybop i obosnovanie konstruktivnykh papametpov bupovogo rezhushchego instpumenta dlya prokhodki skvazhin v mepzlykhgpuntakh. Chast' II* [Selection and justification of design parameters of drilling cutting tools for drilling wells in frozen soils. Pt. II]. *Gornoe oborudovanie i ehlektromekhanika – Mining Equipment and Electric Engineering*, 2013, no. 2, pp. 6–13.

16. Katanov B. A. *Osnovnye napravleniya sovershenstvovaniya kar'ernykh burovyykh dolot* [Major

directions of improving career drill bits]. *Vestnik KuzGTU – Bulletin of KuzSTU*, 2005, no. 1, pp. 51–53.

17. Chukhryaev N. P., et al. *Burovoe rezhushchee doloto* [Drilling cutting chisel]. Patent RF no. 2300621. 2007. Bulletin no. 16.

18. Gilev A. V., Mishkhozhev Kh. M. *Perspektivy primeneniya modifitsirovannykh dolot rezhushche-vrashchatel'nogo deystviya na otkrytykh gornyykh rabotakh* [Prospects for the use of modified bits with the cutting and rotary action on open mining]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal) – Mining Information-Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*, 1997, no. 5, pp. 138–139.

19. Neskoromnykh V. V. *Napravlennoe burenie i osnovy kernometrii* [Directional drilling and fundamentals of core measurement]. Krasnoyarsk, SFU Publ., 2012, 328 p.

20. Tret'yak A. Ya., Chikhotkin V. F., Litkevich Yu. F., Aseeva A. E. *Dvukh'yarusnoe doloto rezhushchego tipa* [Two-tier bit of cutting type]. *Interval – Interval*, 2006, no. 1, pp. 36–39.