

500.34
П-56
П. П. Пономарев

Алмазное бурение

трещино-
ватых
пород

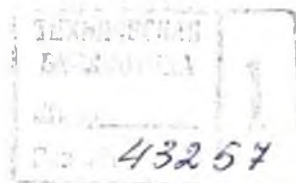
Недра

2004

550.82
17-56

П. П. ПОНОМАРЕВ

Алмазное бурение трещиноватых пород



Ленинград
«Недра»
Ленинградское отделение
1985

Пономарев П. П. Алмазное бурение трещиноватых пород. — Л.: Недра, 1985. — 144 с.

Впервые комплексно освещены вопросы алмазного бурения геологоразведочных скважин в трещиноватых горных породах. Даны основные понятия, определения и термины трещиноватости пород, рассмотрены природа образования трещин, методы, критерии оценки и классификации горных пород по трещиноватости, в том числе применительно к алмазному бурению. В краткой форме приведены результаты экспериментальных исследований процесса алмазного бурения в трещиноватых породах и закономерности износа алмазных коронок. Дано описание имеющихся и разрабатываемых технических средств для бурения скважин. Большое внимание уделено методике и технологии работ при бурении скважин в трещиноватых породах. Обобщен и проанализирован опыт алмазного бурения на различных месторождениях страны, даны рекомендации по выбору и применению используемого бурового инструмента и получению кондиционного керна высокого качества в породах различной степени трещиноватости.

Для инженерно-технических работников и буровых мастеров геологоразведочных организаций, занятых алмазным бурением на твердые полезные ископаемые, а также для специалистов, имеющих отношение к бурению геологоразведочных скважин; может быть полезной для студентов вузов, обучающихся по специальности «Технология и техника разведки месторождений полезных ископаемых».

Табл. 43, ил. 28, список лит. 48 назв.

Рецензент — горный инженер В. А. Каролинский (ПГО «Севзапгеология»)

Павел Павлович Пономарев
**АЛМАЗНОЕ БУРЕНИЕ
ТРЕЩИНОВАТЫХ ПОРОД**

Редактор издательства Э. Г. Сегаль
Обложка художника В. Н. Нечаева
Технический редактор И. Г. Сидорова
Корректор М. Г. Дешалит

ИБ № 5689

Сдано в набор 01.03.85. Подписано в печать 21.06.85. М-32237. Формат 60×90/16.
Бумага тип. № 1. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 9,00.
Усл. гр.-отт. 9,26. Уч.-изд. л. 9,97. Тираж 2900 экз. Заказ 594696. Цена 35 коп.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра», Ленинградское отделение.
190171, Ленинград, С 171, ул. Фарфоровская, 12.

Типография № 2 Ленинприздата 191101, Ленинград, Литейный пр., 55.

П 250200000—341
043(01)—85 194—85

© Издательство «Недра», 1985

ВВЕДЕНИЕ

Один из основных и наиболее эффективных способов колонкового бурения скважин — алмазное. По мере увеличения его объемов и расширения области применения все чаще стала появляться необходимость бурения скважин в так называемых осложненных условиях. В последние годы рост объемов алмазного бурения происходит главным образом за счет его применения в районах со сложными горно-геологическими условиями. В первую очередь это сильнотрещиноватые, дезинтегрированные твердые горные породы, при бурении которых наблюдаются высокий расход алмазов, низкая стойкость коронок и недостаточный выход керна.

В связи с ростом объемов бурения по таким породам до 3 млн. м в год проходка на коронку по Мингео СССР снизилась с 16,5 м в 1971 г. до 13,3 м в 1984 г., а расход алмазов увеличился соответственно с 0,80 до 0,98 карат/м.

Следует отметить, что проблеме алмазного бурения геологоразведочных скважин в целом посвящено много различных работ советских и зарубежных исследователей. Однако до 1970—1973 гг. в отечественной литературе почти совсем не встречается данных об алмазном бурении в трещиноватых породах. В этот период недостаточно изучались такие важные при бурении в трещиноватых породах вопросы, как степень влияния трещиноватости горных пород на работоспособность коронок, характерные виды износа алмазных коронок и причины их возникновения, возможности количественной оценки степени трещиноватости пород и др.

Многие советские и зарубежные специалисты, ссылаясь в своих работах на отсутствие достаточно глубоких и, главное, всесторонних исследований процесса алмазного бурения в трещиноватых породах, в то же время подчеркивают необходимость их проведения. Так, Е. А. Козловский и В. Т. Шишмаков [1] считают, что трещиноватость является одним из важнейших свойств породы, знание которого необходимо при разработке оптимальных режимов бурения, однако тут же отмечают, что исследование этого вопроса практически не ведется в связи с трудностью его решения и отсутствием соответствующих методик. На отсутствие до настоящего времени систематических и глубоких исследований процессов работы алмазной коронки в трещиноватых породах ссылается ряд исследователей. Общее количество опубликованных работ по указанным вопросам невелико. Наиболее интересными из них являются исследования С. А. Волкова, Е. А. Козловского и Б. Д. Алимбекова (особенности разработки оптимальных режимов бурения), В. С. Владиславлева, Б. И. Воздвиженского, П. В. Полежаева и С. С. Сулакшина (выход керна), С. Н. Тара-

канова, Н. П. Любимова, П. Н. Курочкина и М. И. Исаева (вопросы разрушения горных пород) и ряда других авторов.

Недостатком фундаментальных исследований можно объяснить и тот факт, что по некоторым вопросам бурения в трещиноватых породах различные авторы придерживаются прямо противоположных мнений. Это относится и к влиянию трещиноватости горных пород на механическую скорость бурения, и к выбору и применению оптимальных типов алмазных коронок и режимов бурения и т. д. Противоречия, по всей вероятности, объясняются различными условиями экспериментов. В то же время существенную роль в этом играло отсутствие единых критериев количественной и качественной оценки трещиноватости горных пород, недостаточных знаний об особенностях работы алмазной коронки в трещиноватых породах, о влиянии трещиноватости на процесс алмазного бурения.

Разработанный рядом научно-исследовательских и производственных организаций Мингео СССР комплекс алмазного породоразрушающего, технологического, вспомогательного и аварийного инструмента и технология его применения обеспечили значительное повышение эффективности алмазного бурения в твердых трещиноватых породах. Однако, несмотря на большую работу, проделанную в этом направлении ВИТР и производственными организациями Мингео СССР, полностью эта проблема еще не решена. Поэтому совершенствование применяемой техники и технологии алмазного бурения скважин в твердых трещиноватых породах является одним из важнейших направлений научно-технического прогресса в области колонкового бурения.

В настоящей работе сделана попытка обобщить опыт, накопленный ВИТР и другими организациями в разработке технических средств и технологии алмазного бурения трещиноватых горных пород, и наметить пути для их дальнейшего совершенствования.

1.1. Основные понятия и определения

Трещиноватостью, или трещинной (блоковой) структурой, называют совокупность трещин, разбивающих горные породы массива. Так же как и слоистая структура, трещиноватость обладает универсальным распространением. Поэтому изучение трещиноватости представляет большой интерес при решении ряда теоретических и практических вопросов геологии в целом.

Трещиноватость горных пород — характерная особенность структурного сложения породы, непосредственно связанная с происхождением и последующей жизнью той или иной геологической формации. Она может быть обусловлена различными причинами: 1) изменением физического состояния породы (температурными изменениями застывающих изверженных масс и изменением влажности в осадочных породах), 2) химическими изменениями в породе, 3) тектоническими процессами, 4) метаморфическими процессами, 5) процессами выветривания, 6) действием силы тяжести (оползневые и эрозионные трещины). Трещиноватость свойственна скальным и полускальным породам и характеризует результат нарушения их сплошности — механического разрушения.

Степень трещиноватости пород определяет степень их разрушения. Вместе с другими тектоническими нарушениями трещиноватость характеризует структуру массива горных пород, его пространственную неоднородность и анизотропность свойств. Именно поэтому трещиноватость влияет на прочность и устойчивость горных пород: деформируемость; характер и интенсивность проявления деформаций; водоносность, влагоемкость и водопроницаемость; температурный режим в массиве пород; сейсмостойкость пород, их крепость и буримость и т. д.

Изучению трещиноватости пород много внимания уделено в трудах советских ученых и исследователей — Ф. П. Саваренского, В. Д. Ломтадзе, Ю. А. Косыгина, Г. М. Ломизе, Л. И. Нейштадт, И. А. Пирогова и др. [2—6].

1.2. Природа образования трещин и их классификации

Трещины очень широко распространены в земной коре. В пределах доступной для человека глубины не существует горных

пород скального или полускального типа, которые не имели бы трещин. Можно с уверенностью утверждать, что породы различного возраста, происхождения и самого разнообразного литологического состава с различной степенью трещиноватости встречаются в буровой практике гораздо чаще, чем монолитные, нетрещиноватые породы.

Классическое определение трещины в горной породе было дано Г. М. Дювизе [5]: «Трещины — это разделяющие горные породы поверхности, по которым в результате напряженного состояния породы произошли разрушения, нарушившие связность породы».

Трещины в горных породах могут различаться по генезису, геометрии, морфологии, возрасту и другим признакам.

О трещинах говорят, что они принадлежат к одному генетическому типу, если эти трещины сформировались под действием одних и тех же геологических причин. По происхождению различают трещины тектонические и нетектонические (трещины выветривания и т. п.).

Тектонические трещины развиваются в магматических, метаморфических и осадочных сцементированных породах под влиянием тектонических сжимающих и растягивающих усилий, превышающих предел прочности пород. В соответствии с этим по механизму образования они подразделяются на трещины скалывания, развивающиеся под влиянием касательных сдвигающих (скалывающих) усилий, и трещины отрыва, развивающиеся под влиянием растягивающих усилий. Тектонические трещины скалывания обычно скрытые и закрытые — волосные, плоскости трещин гладкие, притертые, иногда с зеркалами и бороздами скольжения, свидетельствующими о некотором перемещении пород вдоль трещин. Водопроницаемость по этим трещинам небольшая.

Тектонические трещины отрыва обычно открытые (зияющие), крутонаклоненные или вертикальные, плоскости их неровные, бугристые, покрытые натеками, налетами, свидетельствующими о циркуляции по ним подземных вод и растворов. Часто они бывают выполнены привнесенным песчано-глинистым материалом, а также продуктами дробления и перетирания пород, продуктами выветривания или гидротермального изменения. К ним нередко приурочены жилы кварца, кальцита, гипса, а в районах многолетней мерзлоты — жилы льда; трещины часто водоносны, водопроницаемость по ним повышена. Трещины отрыва по простиранию и на глубину прослеживаются на более короткие расстояния, чем трещины скалывания. Иногда они прерывисты: одна трещина выклинивается, а рядом с ней или в стороне от нее появляется другая того же направления. В целом такие трещины часто достигают большой длины. На отдельных участках они могут сгущаться и образовывать зоны повышенной трещиноватости либо, наоборот, быть редкими, единичными.

Тектонические трещины, т. е. тектонические разрывы горных пород, иногда разделяют на две группы: 1) без смещения, их называют просто тектоническими трещинами или диаклазами; 2) со

смещениями, их называют разрывными смещениями или параклазами. Однако строгого разграничения между диаклазами и параклазами в природе, по-видимому, не существует, так как в процессе тектонического развития первые могут переходить во вторые.

Нетектонические трещины образуются под влиянием внутренних сил сжатия и растяжения, развивающихся в той или иной породе. Такие трещины встречаются повсеместно, они весьма разнообразны. Общие особенности их следующие:

- приуроченность к приповерхностным или даже самым верхним горизонтам земной коры;

- своеобразие для каждого петрографического типа пород (образуют отдельности различного размера и формы у разных типов пород);

- невыдержанность по простиранию;

- отсутствие, как правило, у многих из них определенных систем;

- в большинстве случаев в приповерхностных горизонтах земной коры они открытые, а с глубиной сужаются и выклиниваются.

Нетектонические трещины по своему происхождению могут быть подразделены на несколько групп:

- контракционные, возникающие в связи с уменьшением объема при остывании магматических пород, — трещины первичной отдельности;

- трещины усыхания, возникающие вследствие уменьшения объема осадков при их высыхании и усадке при диагенезе;

- трещины напластования, возникающие в осадочных породах в процессе их литификации, сопровождающейся дегидратацией и уплотнением;

- трещины выветривания, образующиеся в результате разрушения пород при выветривании;

- трещины разгрузки, возникающие при увеличении объема пород при их гидратации или в результате упругой отдачи при вскрытии подземными выработками или эрозионными процессами;

- трещины оползней, провалов и просадок, появляющиеся вследствие перераспределения напряжений в массивах горных пород и нарушения их равновесия;

- искусственные трещины, возникающие при взрывах, обрушениях при подработке горных пород подземными выработками.

Кроме трещин тектонического или нетектонического происхождения следует кратко остановиться на явлении, носящем название кливажа и оказывающем на процесс бурения скважин такое же влияние, как и трещиноватость горных пород. Кливаж не нарушает сплошности породы и этим отличается от тектонических трещин. В обнажениях в зоне выветривания кливаж имеет вид открытых или закрытых частых параллельных трещин с ровными поверхностями и нередко со следами скольжения и притирания. В породах, находящихся вне зон выветривания, поверхности

делимости скрыты, они обнаруживаются при ударе по породе или при ее сжатии.

По происхождению кливаж может быть эндогенным, связанным с внутренними глубинными процессами земной коры (складкообразованием, метаморфизмом и т. п.), и экзогенным, связанным с поверхностными процессами (движением ледника, оползней и т. д.).

Экзогенный кливаж — явление редкое и локальное.

Кливаж подразделяют на кливаж течения и кливаж разлома (раскола). Тот и другой образуются в процессе пластических деформаций пород при соответствующих условиях. Кливаж течения обусловлен ориентированным плоскопараллельным расположением минералов в породе. Особенно характерен он для метаморфических пород. Кливаж течения охватывает обычно мощные толщи пород. По отношению к слоистости он может располагаться различно: диагонально, параллельно и реже перпендикулярно. Кливаж разлома не зависит от расположения минералов в породе, возникает без изменения ее структуры. Его образование связано с действием сжимающих, скалывающих и растягивающих усилий. Как правило, он не пересекает толщи и слои пород, а проявляется в отдельных прослойках. По отношению к слоистости расположен чаще перпендикулярно или диагонально.

Из изложенного следует, что кливаж — очень важное явление, по существу он, как и трещиноватость, определяет физическое состояние скальных и полускальных горных пород. Он предопределяет характер разрушения пород, их деформацию под воздействием внешних усилий. Поэтому необходимо оценивать его влияние на физико-механические свойства пород и учитывать при проектировании технологии бурения скважин.

Трещины обычно простираются по нескольким взаимно пересекающимся направлениям, определяя пространственное расположение поверхностей и зон ослабления. По отношению к простираанию (складчатости в осадочных породах или линейной структуре течения — в изверженных) различают продольные, поперечные и диагональные трещины.

Совокупность однородных, примерно параллельных друг другу трещин, свойственная какой-либо тектонической структуре или определенной части ее и обладающая одинаковыми или близкими элементами залегания, называется системой трещин. Обычно считается, что трещины принадлежат к одной и той же системе, если они имеют азимуты и углы падения, отклоняющиеся от среднего значения не более чем на 10° в каждую сторону.

Примерная параллельность трещин внутри системы может реализовываться на большой площади либо в небольшой части массива. Множество трещин, совместно развитых в той или иной части массива, образуют пространственную сеть трещин, составленную несколькими (как правило, не менее чем тремя) системами трещин, реже хаотически ориентированными трещинами, не группирующимися в системе.

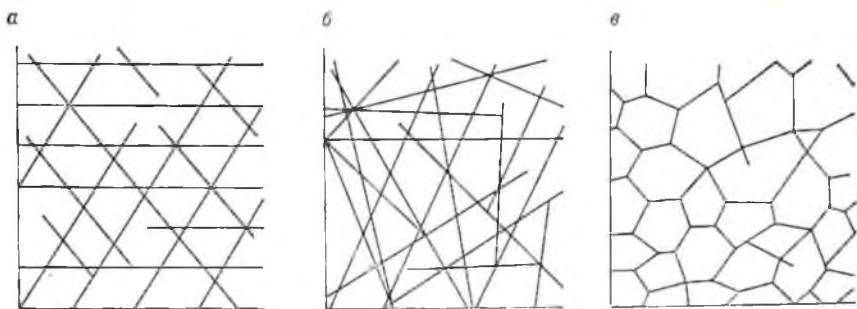


Рис. 1.1. Основные типы сетей трещин.
а — системная, *б* — хаотическая, *в* — полигональная.

Пространственные сети трещин определяются рядом параметров. Параметрами называются величины, характеризующие различные элементарные свойства трещиноватости конкретных пород в конкретных геологических условиях.

К числу основных параметров пространственной сети трещин относятся:

- густота трещин (расстояние между соседними трещинами данной системы);
- ширина трещин;
- протяженность трещин;
- угол падения плоскости трещин;
- азимут падения плоскости трещин и др.

Существует несколько различных классификаций сетей трещин, основанных на том или ином параметре трещиноватости горных пород. Так, по общему характеру сети выделяют три типа:

- системные, образованные системами различно ориентированных трещин;
- хаотические, когда системы трещин не выделяются или число систем очень велико;
- полигональные, когда все трещины параллельны одной линии (обычно вертикальной) и в перпендикулярной к этой линии плоскости (обычно горизонтальной) образуют характерные замкнутые многоугольники с числом сторон в среднем более четырех.

Основные типы сетей трещин показаны на рис. 1.1.

Помимо приведенных «чистых» типов встречаются смешанные сети, когда на решетку одного из приведенных типов накладывается сеть другого типа. Наиболее характерным является сочетание хаотической и системной сетей, когда системы выделяются на фоне хаоса. Практическое значение имеют системные сети. Имеется ряд геометрических классификаций трещин, под которыми подразумевают классификации систем трещин по их ориентировке относительно стран света, слоистости и т. п. Такие классификации относятся естественно только к системным сетям.

Простейшие классификации такого рода осуществляются по углу или азимуту падения (простираения). По углу падения выделяются трещины, градус: вертикальные — 75—90, крутые — 45—75, пологие — 15—45, горизонтальные — 0—15.

В простых геологических условиях трещины удобно делить по простираанию относительно стран света на меридиональные, широтные и диагональные системы трещин.

При геометрическом рассмотрении сети трещин последняя сводится к довольно простой модели — системе плоскостей или щелей с плоскопараллельными границами. Эта модель является основой изучения трещиноватости для любых приложений, но она должна сопровождаться морфологической характеристикой трещин.

О трещинах говорят, что они принадлежат к одному морфологическому типу, если обладают сходным обликом. Трещины одного морфологического типа могут делиться на несколько различно ориентированных систем, реже одна система может включать трещины разных морфологических типов.

Морфология трещин складывается из ряда элементов и включает в себя характеристики формы трещин (прямолинейные, криволинейные, волнистые и т. д.), поверхностей стенок трещин (гладкие, шероховатые, текстурные — борозды, штрихи, рябь, зеркала скольжения, перистые и т. д.), заполнения, взаимопересечения, окончания следов трещин (затухающие, ветвящиеся), изменения пристеночного слоя (следы выветривания и т. п.).

При изучении морфологии отдельных трещин и систем обращают внимание на их длину и прерывистость. Определяют размеры и форму образующихся отдельностей, изменение расположения трещин в зависимости от состава пород, мощности слоев, сопряженность трещин с текстурными особенностями пород, положением складок и других тектонических нарушений, зон брекчирования.

Размеры трещин, пересекающих горные породы, могут быть самыми разнообразными — от микроскопических и волосных до весьма крупных, прослеживающихся на большие расстояния и глубины.

По характеру заполнения выделяют трещины раскрытые, а при большом раскрытии — зияющие (т. е. заполненные воздухом или водой) и с заполнителем кристаллическим (кварц, кальцит и т. п.), битуминозным (нефти, битумы) или рыхлым (глинка трения, продукты выветривания). По степени заполнения различают трещины, заполненные полностью (если заполнитель кристаллический, то говорят о «залеченных» трещинах или прожилках), частично занятые заполнителем и с налетами (натекami) по стенкам (особенно характерны налеты гидроокислов железа и кальцита). Заполнитель трещин имеет огромное значение при решении прикладных задач, в частности при проектировании технологии бурения скважин. Причем для бурения особенно важно знание степени различия (или сходства) свойств горной породы и

свойств заполнителя трещин. Если полагать трещины нацело заполненными и заполнитель «спаянным» со стенками трещин, то различие свойств пород и заполнителя в массиве будет оказывать существенное влияние на работу породоразрушающего инструмента и на весь процесс бурения скважины в целом.

Таким образом, при изучении трещин можно установить их генетические типы, морфологическую характеристику и другие элементы и дать на этой основе качественную оценку степени нарушенности и устойчивости горных пород, а также установить возможное локальное или региональное влияние их на физико-механические свойства горных пород.

Для получения необходимых сведений о трещиноватости горных пород в процессе бурения скважин особое внимание должно быть уделено фиксации таких фактов, как выход керна, поглощение промывочной жидкости, случаи провалов инструмента, характер материала, выполняющего трещины, наличие каверн и карстовых полостей, характер стенок трещин и каверн, вскрываемых при бурении и др.

Описание трещиноватости по керну в процессе бурения скважины рекомендуется производить в специальном журнале наблюдений. На основании этих описаний можно условно выделить следующие интервалы скважин по степени их трещиноватости или кавернозности:

- слаботрещиноватые породы (ширина трещин меньше 1 мм);
- среднетрещиноватые породы (ширина трещин 1—5 мм);
- сильнотрещиноватые породы (ширина трещин больше 5 мм);
- очень сильнотрещиноватые породы (кern раздроблен и представлен угловатыми обломками).

Изучение трещиноватости пород по кернам колонковых скважин дает возможность проследить закономерности распределения и изменения характера трещиноватости с глубиной и внести коррективы в технологию бурения последующих скважин на месторождении.

1.3. Методы и критерии оценки трещиноватости горных пород

При детальном изучении трещиноватости пород очень важно бывает знать точную качественную и количественную характеристику этой трещиноватости.

Однако количественная оценка трещиноватости пород в массиве представляет известные трудности, так как она должна учитывать ряд факторов, трудно поддающихся регистрации. В связи с этим в ряде случаев эта оценка дается весьма приближенно. Тем не менее всякая количественная оценка трещиноватости, даже приближенная, представляет для инженерно-геологических и других целей значительный интерес. Поэтому при изучении отдельных трещин и систем обращают внимание на их длину и преры-

вистость, устанавливают степень раскрытости трещины, определяют их ширину и ее изменение по простиранию и с глубиной, фиксируют степень заполненности трещины и состав заполнителя. Кроме того, устанавливают генетические типы трещины, дают оценку степени нарушенности и устойчивости горных пород, а также определяют возможное локальное или региональное влияние их на физико-механические свойства пород.

Любой количественный показатель трещиноватости должен обязательно дополняться качественной оценкой, учитывающей характер трещиноватости, например отдельные ли это крупные трещины или целая сеть мелких трещин.

Л. И. Нейштадт и И. А. Пирогов [6], исходя из опыта исследований, предлагают следующую градацию трещин по их ширине: тонкие — менее 1 мм, мелкие 1—5 мм, средние — 5—20 мм, крупные 20—100 мм, очень крупные — более 100 мм.

В качестве критерия для количественной оценки степени трещиноватости горных пород выбирают показатели, учитывающие размеры и густоту трещин. Обычно при этом различают три вида показателей:

— линейные, учитывающие количество и размеры трещин на единицу длины (обнажения, горной выработки, скважины и т. п.);

— площадные, учитывающие количество, размеры и раскрытость трещин на единицу площади;

— объемные, учитывающие количество, площадь стенок и объем трещин на единицу объема породы.

Имеется ряд классификаций горных пород по трещиноватости, в основу которых положены различные показатели трещиноватости: линейные, объемные или площадные. Помимо этого классификации различаются также количеством классов, на которые делятся породы (обычно от 4 до 6).

Необходимо отметить, что большое количество существующих, часто почти идентичных, классификаций создает дополнительные трудности в оценке и сравнении степени трещиноватости пород. Однако все эти классификации основываются на признаках, наиболее важных для той отрасли, для которой создается данная классификация. Так, для гидрогеологов и нефтяников главным является проницаемость горных пород, и именно с этой точки зрения оценивается ими трещиноватость. Поэтому ни одна из существующих классификаций не может быть полностью использована для оценки трещиноватости пород в геологоразведочном бурении.

Отсутствие классификации и критериев оценки степени трещиноватости горных пород с точки зрения их буримости делало невозможным сопоставление результатов бурения в различных условиях, так как горные породы, которые на одном месторождении оцениваются как сильнотрещиноватые, в другом районе могут считаться слаботрещиноватыми и т. п. Появилась необходимость разработки таких критериев оценки трещиноватости пород, которые полностью удовлетворяли бы всем требованиям алмазного

бурения скважин. При этом было обусловлено, что выбранные критерии должны легко устанавливаться по поднятому из скважины керну и давать достаточно точную количественную характеристику степени трещиноватости горных пород. Проведенные исследования показали, что наиболее четко трещиноватость породы проявляется в степени раздробленности керна на столбики и обломки. Количественным показателем степени раздробленности керна может служить его удельная кусковатость $K_{уд}$. Эта величина определяется как количество кусков, столбиков и обломков на 1 м выхода керна. Надежность ее зависит от выхода керна: чем последний выше, тем достовернее оценка трещиноватости породы по удельной кусковатости керна. Этот показатель более полно отражает истинную трещиноватость породы в массиве и меньше зависит от технологии бурения, чем выход керна. Практическая применимость и надежность выбранного критерия была проверена при опытно бурении на многих месторождениях страны (Кривбасс, Средняя Азия, Приморье и др.) при проведении комплексного изучения влияния трещиноватости пород на процесс алмазного бурения.

Между удельной кусковатостью керна и основными показателями бурения (удельный расход алмазов, механическая скорость бурения, стойкость коронки) установлена тесная корреляционная связь. Коэффициенты корреляции между этими величинами находятся в пределах 0,69—0,96 (по данным экспериментальных исследований).

Приблизительно оценку трещиноватости горных пород можно производить и по выходу керна. Однако последний не является показателем, характеризующим только трещиноватость породы. В значительной мере он зависит от состояния самой породы (ее пористость, кавернозность, выветрелость и т. п.) и от применяемой технологии бурения (типа и диаметра коронки, режимов бурения, вибрации снаряда, качества и количества промывочной жидкости и др.), которая определяется особенностями геологического строения, глубиной и конструкцией скважины. Использование выхода керна в качестве показателя трещиноватости горной породы должно быть ограничено конкретными геологическими условиями, причем технические и технологические условия бурения должны быть по возможности одинаковыми.

Поэтому в качестве основного критерия, позволяющего наиболее точно и полно оценивать степень трещиноватости пород при бурении, принята удельная кусковатость керна, а в качестве косвенного, дополнительного критерия — выход керна.

В соответствии с принятыми критериями оценки трещиноватости все породы разбиты на следующие классы:

— по удельной кусковатости керна $K_{уд}$, шт./м: 1—5; 6—10; 11—30; 31—50; 51 и более;

— по выходу керна B_k , %: 100—70; 90—60; 80—50; 70—40; 60—30 и менее.

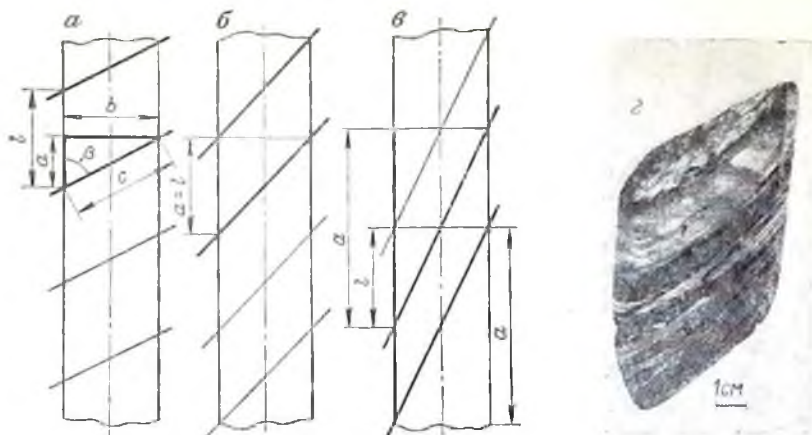


Рис. 1.2. Основные элементы трещины, пересекающей столбик керна.
 $a - \beta = 60^\circ, a < l, b - \beta = 45^\circ, a = l, v - \beta = 30^\circ, a > l; z$ — образец керна, пересеченный трещинами.

Установленные критерии дают возможность достаточно просто и оперативно оценивать степень трещиноватости горных пород в процессе бурения скважины.

В тех случаях, когда требуется более точное определение степени трещиноватости породы, например при экспериментальных исследованиях, используется еще один дополнительный критерий, названный показателем трещиноватости горной породы W , который вместе с удельной кусковатостью керна позволяет более точно оценивать степень нарушенности горных пород, их структурные и текстурные особенности.

Для определения этого показателя используется следующая формула:

$$W = a B / L, \quad (1.1)$$

где W — показатель трещиноватости горной породы, определяющий среднее количество трещин, встречаемых коронкой за один полный ее оборот; L — длина пробуренного интервала скважины, м; B — количество трещин в пробуренном интервале скважины; a — длина участка керна по вертикали, на котором проявляется влияние данной трещины (проекция длины трещины на боковую поверхность керна), м.

Основные элементы трещины, пересекающей столбик керна, показаны на рис. 1.2.

Количество трещин в пробуренном интервале скважины может быть определено с помощью удельной кусковатости керна $K_{уд}$ по следующей формуле:

$$B = K_{уд} \lambda L, \quad (1.2)$$

где λ — опытный коэффициент, учитывающий степень вторич-

ного дробления горной породы (для расчетов среднее значение этого коэффициента можно принять равным 0,7).

На определении длины a остановимся более подробно. При пересечении керна плоскостью трещины в его сечении образуется эллипс (см. рис. 1.2). Если через большую ось этого эллипса и ось скважины провести плоскость, в ней можно построить прямоугольный треугольник, в котором гипотенузой будет служить большая ось эллипса (обозначим ее через c), а катетами — отрезки a и b . При этом гипотенуза c является длиной трещины, пересекающей керн в этом сечении, катет a — проекцией длины трещины на боковую поверхность керна, а катет b — диаметром керна. Угол β , образованный сторонами a и c этого треугольника, будет называться углом встречи плоскости трещины с осью скважины. Элементы a , b и β находятся в следующей зависимости:

$$a = b / \operatorname{tg} \beta. \quad (1.3)$$

По этой формуле рассчитываются значения a для любых углов β . В зависимости от угла β длина a может принимать значения $a < l$, $a = l$, и $a > l$, где l — средняя длина столбика керна, отделившегося по плоскостям двух соседних трещин. Отрезок a ограничивает участок керна по вертикали, в котором проявляется действие данной трещины. От количества трещин длина a не зависит. Однако при большом количестве трещин или при небольших значениях угла β зоны действия рядом расположенных трещин накладываются друг на друга. При этом отрезки a_1, a_2, a_3, \dots столбиков керна длиной l_1, l_2, l_3, \dots также будут накладываться друг на друга. Поэтому сумма отрезков $a_1 + a_2 + a_3 + a_n$ столбиков керна длиной $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$ в интервале бурения скважины L может принимать значения

$$\sum_{i=1}^n a_i < L; \quad \sum_{i=1}^n a_i = L \quad \text{и} \quad \sum_{i=1}^n a_i > L.$$

При этом на основании формулы (1.1) показатель трещиноватости горной породы будет соответственно $W < 1$; $W = 1$ и $W > 1$.

При $W < 1$ коронка будет пересекать трещину не во всем интервале скважины, а только на какой-то его части; при $W = 1$ коронка во всем интервале будет пересекать одну трещину; при $W > 1$, коронка будет пересекать во всем интервале одну трещину, а на какой-то части интервала скважины — больше одной трещины. Если учесть, что при каждом пересечении трещины происходит удар алмаза о ее стенки, можно считать, что показатель трещиноватости породы определяет количество этих ударов на определенном отрезке пути коронки.

Заменяя B и a в формуле (1.1) выражениями (1.2) и (1.3), получим в окончательном виде более удобную расчетную формулу для определения показателя трещиноватости горной породы:

$$W = b K_{y.d}^* \operatorname{tg} \beta. \quad (1.4)$$

Показатель трещиноватости горной породы хорошо коррелируется с удельной кусковатостью керна, а также учитывает влияние угла встречи оси скважины с плоскостью трещины.

Значения показателя трещиноватости горной породы, рассчитанные для различных углов β и удельной кусковатости керна, приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Значения показателя трещиноватости горной породы, определенные для различных углов β и удельной кусковатости керна при $b=0,059$ м

Угол β , градус	Удельная кусковатость керна, шт./м				
	3	8	20	40	50
15	0,44	1,32	3,08	6,16	7,70
30	0,24	0,72	1,42	2,85	3,56
45	0,14	0,42	0,82	1,64	2,05
60	0,07	0,21	0,47	0,95	1,18
75	0,04	0,12	0,22	0,44	0,55

Таким образом, в результате проведенных исследований предложены три критерия оценки степени трещиноватости пород: удельная кусковатость керна, показатель трещиноватости пород и выход керна. Совместное их применение позволяет получить достаточно полную характеристику степени трещиноватости породы. Причем при проведении на месторождении работ исследовательского характера следует определять все три показателя, а для решения практических задач вполне достаточным является знание удельной кусковатости керна. На основании разработанных критериев составлена классификация горных пород по трещиноватости применительно к вращательному колонковому бурению (табл. 1.2), с помощью которой можно прогнозировать разработку и применение коронок и режимов бурения в породах различной степени трещиноватости, сопоставлять результаты бурения, осуществлять типизацию горно-геологических условий для различных целей бурения и решать многие другие задачи.

На практике использование рассмотренной методики оценки трещиноватости горных пород осуществляется следующим образом. После каждого рейса подробно описывают поднятый керн. Керновую пробу, уложенную компактно в керновом ящике, делят на зоны, различающиеся линейными размерами столбиков и обломков керна, в соответствии с приведенной выше классификацией.

Линейные размеры столбиков и обломков керна для каждой зоны приведены в табл. 1.3.

Далее определяют длину каждой зоны L в метрах и количество столбиков и обломков керна N в пределах этой зоны. Удельная кусковатость керна вычисляется по формуле

$$K_{уд} = N/L. \quad (1.5)$$

Классификация горных пород по трещиноватости для вращательного колонкового бурения

Группа горных пород по трещиноватости	Степень трещиноватости горных пород	Удельная кусковатость керна $K_{уд}$, шт./м	Показатель трещиноватости W , ед./об.*	Выход керна B_K , %
I	Монолитные	1—5	До 0,50	100—70
II	Слаботрещиноватые	6—10	0,51—1,00	90—60
III	Трещиноватые	11—30	1,01—2,00	80—50
IV	Сильнотрещиноватые	31—50	2,01—3,00	70—40
V	Весьма и исключительно сильнотрещиноватые	51 и более	3,01 и более	60—30 и менее

* Количество трещин на оборот.

Если средние размеры кусков керна в зоне составляют менее 0,02 м, то их количество не подсчитывается, а зона относится к группе пород с удельной кусковатостью 51 шт./м и более.

Таблица 1.3

Линейные размеры столбиков и обломков керна при различной его кусковатости

Группа горных пород по трещиноватости	Удельная кусковатость керна $K_{уд}$, шт./м	Линейные размеры столбиков керна, м
I	1—5	1,00—0,20
II	6—10	0,20—0,10
III	11—30	0,10—0,04
IV	31—50	0,04—0,02
V	51 и более	0,02 и менее

Кроме удельной кусковатости по поднятому из скважины керну определяется угол встречи плоскости трещины с осью скважины β в градусах. При этом угол β определяется для зоны при наличии видимых по керну преимущественно близких по направлению трещин как средний по результатам нескольких (5—10) измерений. Значения углов β в этом случае не должны различаться более чем на 10%. Если преимущественного направления трещин выделить нельзя, угол β не определяется или указываются пределы его изменений.

Результаты описания и измерений поднятого керна, а также основные данные бурения по каждому рейсу фиксируются на специальном бланке (табл. 1.4).

Таблица 1.4

Результаты измерений керн и описание условий его получения

ГУ, ГРЭ, ГРП _____
 Место рождения _____ Скви. № _____ Тип и диаметр породоразрушающего инструмента _____ Станок _____ Привод _____
 Бурильная колонна _____ Вид промывочной жидкости _____ Тип колонкового снаряда _____

Номера петлеов	Номера выделенных зон по кусковатости керна		Интервал бурения скважины, м		Объем бурения, м	Выход керна $B_{\text{к}}$		Количество столбиков керна N , шт.	Кусковатость керна $K_{\text{к}}$, шт/м	Угол α , градус	Время чистого бурения T , ч	Режим бурения			Категория пороа по буримости	Горные породы
	от	до	м	%		Осевая нагрузка на инструмент P , кгс	Частота вращения снаряда n , об/мин					Квадрат промывочной выхлопности Q , л/мин				
43	1	881,4	—	—	—	0,3	—	14	47	—	0,5	1400	300	0,25—0,50	IX	Гранодиориты, кварцевые порфиры
	2	—	—	—	—	3,2	—	26	8	75	4,2	1600	500	0,3—0,4		
	3	—	885,6	—	—	0,1	—	5	50	70	0,3	1500	300	0,25—0,50		
44	Итого	881,4	885,6	—	4,2	3,6	86,0	—	32	65	5,0	—	—	—	IX-X	Кварцевые порфиры
	1	885,6	—	—	—	0,9	—	29	—	—	1,5	1500	300	0,25—0,50		
	2	—	890,2	—	—	3,0	—	21	7	70	4,9	1700	500	0,25—0,50		
Итого	885,6	890,2	—	4,6	3,9	85,0	—	—	—	6,1	—	—	—	X		

1.4. Объемы алмазного бурения в трещиноватых породах

С использованием разработанных критериев и классификации горных пород впервые выполнено распределение объема алмазного бурения по степени трещиноватости и буримости пород, приведенное в табл. 1.5. Это позволяет научно обоснованно подходить к определению номенклатуры и объему выпуска алмазного породоразрушающего и технологического инструмента.

Таблица 1.5

Распределение объема алмазного бурения по степени трещиноватости пород и категориям пород по буримости

Степень трещиноватости пород	Удельная кусковатость керна $K_{уд}$, шт./м	Объем алмазного бурения, %	В том числе по категориям горных пород по буримости		
			VII—VIII	IX—X	XI—XII
Монолитные	1—5	36	6,6	24,7	4,7
Слаботрещиноватые	6—10	34	6,2	23,5	4,3
Трещиноватые	11—30	19	3,5	13,1	2,4
Сильнотрещиноватые	31—50	8	1,5	5,5	1,0
Весьма и исключительно сильнотрещиноватые	51 и более	3	0,6	2,0	0,4
Всего	—	100	18,4	68,8	12,8

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА АЛМАЗНОГО БУРЕНИЯ В ТРЕЩИНОВАТЫХ ПОРОДАХ

2.1. Факторы, влияющие на процесс алмазного бурения в трещиноватых породах

Проведенные на ряде месторождений страны и на специальном буровом стенде в ВИТР исследования позволили выявить факторы, оказывающие наибольшее влияние на работоспособность алмазных коронок, выход и качество керна при бурении в трещиноватых породах. По своему характеру все эти факторы могут быть объединены в три группы: геологические, технические и технологические.

Степень влияния каждой группы факторов на показатели алмазного бурения неодинакова. Внутри каждой группы могут быть выделены также основные и второстепенные факторы. Так, к основным факторам геологического характера, оказывающим наиболее сильное влияние на работоспособность коронки и выход керна при бурении, относятся в первую очередь такие свойства пород, как трещиноватость и твердость. Причем влияние обоих этих факторов проявляется в тесном взаимодействии друг с другом. Поэтому, анализируя влияние трещиноватости породы на процесс алмазного бурения, нельзя забывать о ее твердости, и наоборот. Все остальные факторы геологического характера будут иметь подчиненное и поэтому второстепенное значение. Так, например, абразивность горной породы будет изменяться по мере изменения трещиноватости породы. Сильнотрещиноватые раздробленные породы повышают общую ее абразивность. Переменяемость пород по твердости также можно рассматривать как частный случай бурения по породе с постоянно меняющейся твердостью. Причем в этом случае сами трещины и микротрещины в породе можно рассматривать как прослой с нулевой твердостью, а трещиноватую породу рассматривать как слоистую породу с различными физико-механическими свойствами прослоев.

К основным факторам технического характера следует отнести ряд функциональных и конструктивных элементов самих алмазных коронок, наличие которых в коронке в том или ином виде оказывает на ее работоспособность в трещиноватых породах заметное влияние. В первую очередь это прочность или твердость матрицы коронки, качество и зернистость объемных алмазов и насыщенность матрицы алмазами.

К факторам технологического характера относятся применяемые в породах различной трещиноватости и твердости режимы

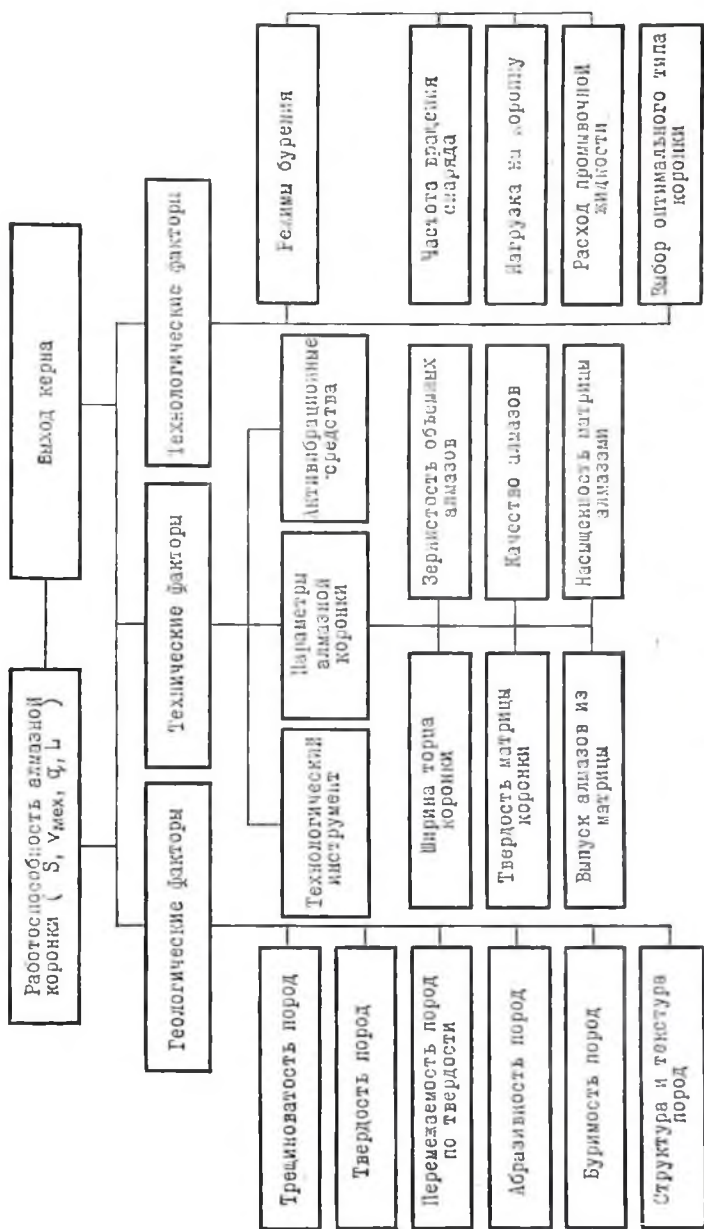


Рис. 2.1. Схема основных факторов, влияющих на работоспособность алмазных коронок и выход керна.
 S — проходка на одну коронку; $v_{\text{мех}}$ — механическая скорость бурения; q — расход алмазов; L — проходка за рейс.

бурения и выбор оптимального типа породоразрушающего инструмента.

Схема основных факторов, влияющих на работоспособность коронок и выход керна, показана на рис. 2.1.

2.2. Особенности и закономерности износа алмазных коронок в трещиноватых породах

Результаты опытного бурения, проведенного в сопоставимых условиях на ряде месторождений страны, показали, что на работу алмазных коронок наиболее существенное влияние оказывают такие свойства горных пород, как их твердость и трещиноватость [7—11]. С увеличением степени трещиноватости пород работоспособность коронок всех существующих типов снижается (табл. 2.1). Причем влияние трещиноватости пород на работоспособность алмазной коронки в очень твердых породах проявляется гораздо сильнее, чем в менее твердых.

Сущность этого явления хорошо объясняется особенностями механизма разрушения трещиноватых горных пород. Действительно, при бурении этих пород образуется большое количество крупных частиц шлама. Условия для быстрого выноса крупных частиц из-под торца коронки не всегда обеспечиваются. Поэтому большинство частиц крупного шлама вторично переизмельчаются под торцом коронки, вызывая усиленный износ матрицы и алмазов. Таким образом, условия работы алмазной коронки на забое скважины при бурении трещиноватой породы являются более тяжелыми, чем при бурении плотной. По экспериментальным данным затраты мощности на бурение трещиноватой породы оказываются на 15—24% выше, чем на бурение плотной породы. При этом дополнительная часть энергии расходуется на разрушение, скол и выкрашивание алмазов из матрицы, происходящие под воздействием крупного шлама и увеличивающихся ударных нагрузок на алмазы.

С целью уточнения и проверки полученных в производственных условиях данных о работоспособности алмазных коронок в трещиноватых породах был выполнен комплекс специальных стендовых исследований. В процессе их проведения изучались:

- влияние трещиноватости породы на работоспособность алмазной коронки,
- влияние отдельных конструктивных элементов коронки на показатели ее работы в трещиноватых породах,
- наиболее оптимальные сочетания параметров режима бурения в трещиноватой породе,
- особенности износа алмазной коронки при бурении трещиноватой породы.

Исследования проводились на специальном буровом стенде в лаборатории технологии алмазного бурения ВИТР. Бурение осуществлялось по специально подготовленным блокам крупнозернистого красного (IX категории по буримости) и среднезернистого серого (X категории по буримости) гранита станком СБА-500 в

Таблица 2/1

Результаты работы алмазных буровых коронок диаметром 59 мм в плотных и трещиноватых горных породах

Тип алмазной коронки	Стенная трещиноватость пород	Объем бурения, м	Продолжения на коронку, м	Продолжения за режущий край, м	Расход алмаза, карат/м	Механическая скорость бурения, м/ч	Горные породы	Промышленно-геологическое объединение
Однослойная 01А3	Плотные Трещиноватые	120,0 130,4	15,4 8,9	1,7 2,4	0,68 1,24	0,55 0,67	Дюриниты мелко- и средне-зернистые X—XI категории по буримости	«Запсибгеология»
Многослойная 01М3	Плотные Трещиноватые	105,9 240,8	17,3 11,1	2,5 2,8	0,62 0,99	0,60 0,71	То же	То же
Однослойная 01А4	Плотные Трещиноватые	141,0 123,3	20,5 11,6	2,2 2,6	0,56 0,85	0,72 1,01	Окременные алевролиты, песчаники и туфы VIII—IX категории по буримости	«Приморгеология»
Однослойная 01А4	Плотные Трещиноватые	102,4 89,1	13,1 4,9	2,4 2,7	0,64 1,42	0,65 0,76	Окварцованные песчаники и порфириты X категории по буримости	То же
Импрегнированная 02И3	Плотные Трещиноватые	289,2 254,4	11,0 6,6	1,7 2,1	1,32 2,22	0,60 0,56	Роговики и джеспилиты X—XI категории по буримости	«Южургеология»
Импрегнированная 02И3	Плотные Трещиноватые	172,8 211,7	5,3 4,0	0,8 1,4	2,89 3,71	0,46 0,45	Роговики и джеспилиты XI—XII категории по буримости	То же
Однослойная АКВ	Плотные Трещиноватые	229,7 70,7	7,9 1,3	1,1 1,3	2,52 15,30	0,52 0,45	Роговики мартино-гематитовые и гематитовые XI категории по буримости	»

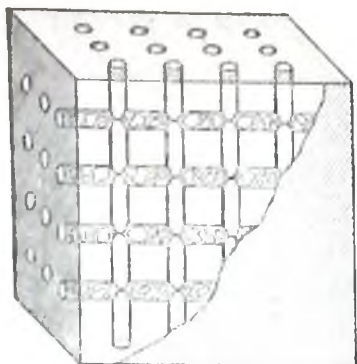


Рис. 2.2. Схема расположения скважин в блоке гранита с искусственно выполненной системой трещин.

два этапа: на первом этапе — по блоку плотного гранита, на втором — по блоку трещиноватого гранита. При переходе ко второму этапу работ блок гранита подготавливался следующим образом.

Пробуренные в блоке на первом этапе работ скважины закладывались в определенном порядке (под определенным углом к оси скважины) кусками битого керна и заполнялись цементным раствором. Устье скважины закрывалось цементной пробкой. После затвердевания цементного раствора блок ориентировался таким образом, чтобы бурение новых скважин осуществлялось под определенным углом (около 90°) к ранее пробуренным и запол-

ненным кусками битого керна скважинам.

Таким образом, на втором этапе работ каждая скважина пересекала ряд пробуренных ранее скважин, имитировавших в данном случае как бы систему трещин в блоке породы (рис. 2.2).

Бурение по блоку гранита велось различными по конструкции алмазными коронками диаметром 46 мм:

- однослойными коронками типа 01АЗ с невыступающими алмазами зернистостью 20—30 шт./карат;

- однослойными коронками типа 07АЗ с выступающими алмазами зернистостью 20—30 шт./карат;

- импрегнированными коронками типа 02ИЗ с алмазами зернистостью 120—400 (объемными) и 40—60 шт./карат (подрезными).

В процессе исследований было отработано по шесть коронок каждого типа, в том числе по три коронки — в блоках плотного гранита и по три коронки — в блоках, имитировавших трещиноватый гранит. Начальная нагрузка на каждую из трех коронок задавалась различной, кгс: на первую $P_{н1}=800$, на вторую $P_{н2}=1200$, на третью $P_{н3}=1600$.

По мере падения механической скорости бурения любой из коронок нагрузка на нее повышалась ступенями по 200 кгс до полной отработки коронки. Частота вращения снаряда была постоянной — 377 об/мин. В процессе отработки коронок на стендах на каждую из них заполнялись наблюдательные листы, в которых фиксировались все показатели ее работы. После каждого рейса производился обмер коронки.

После полной отработки коронка растворялась и устанавливалась точная масса оставшихся в ней алмазов.

При проведении настоящих исследований алмазными коронками было пробурено 50 м, из которых 27 м по блокам плотного и 23 м — по блокам трещиноватого гранита.

Результаты стендовых исследований работоспособности алмазных коронок в трещиноватых породах, приведенные в табл. 2.2, позволили отметить следующее.

1. При бурении по блокам трещиноватого гранита алмазными коронками любого типа:

— механическая скорость бурения во всех случаях оказывается выше (в 1,1—1,5 раза и более), чем при бурении плотного гранита;

— стойкость коронок заметно снижается;

— расход алмазов в зависимости от применяемых режимов бурения резко (в 1,5—2,0 раза и более) возрастает.

2. Наиболее рациональным типом алмазной коронки для бурения трещиноватого гранита IX—X категории по буримости следует считать либо импрегнированную, либо однослойную коронку с невыступающими алмазами. Однако с увеличением степени трещиноватости породы или повышением категории ее буримости предпочтение при выборе должно отдаваться импрегнированной коронке. Применение же в твердых трещиноватых породах, типа гранита IX—X категории по буримости и выше, однослойных алмазных коронок с выступающими алмазами неэкономично, так как хотя механическая скорость бурения этими коронками и выше, чем любыми другими типами коронок, однако стойкость их в этих условиях чрезвычайно мала, а расход алмазов достаточно высок. В то же время можно предположить, что применение этих коронок в трещиноватых, но более мягких породах VII—VIII категории по буримости может оказаться целесообразным.

3. Характерными видами износа алмазных коронок, отработанных в трещиноватом граните, являются сильное обнажение, скол и выкрашивание алмазов из матрицы, а также скол отдельных частей и секторов матрицы, образование скосов и кольцевых канавок по внутреннему и наружному диаметрам матрицы и т. п.

В отличие от этого при бурении по плотному граниту для алмазных коронок характерен совсем иной, прямо противоположный вид износа — не обнажение и выкрашивание, а заполировка алмазов и зашлифовка матрицы. Механический износ, сколов матрицы, образования кольцевых канавок и т. п. при бурении по плотному граниту у алмазных коронок не наблюдается.

4. Большое влияние на работоспособность алмазных коронок в трещиноватой породе (граните) оказывают применяемые режимы бурения. Так, при постоянной частоте вращения снаряда увеличение начальной нагрузки на коронку типа 01А3 с 800 до 1600 кгс приводит к росту механической скорости бурения с 1,0 до 1,95 м/ч, т. е. почти в 2 раза, и к снижению проходки на коронку с 5,10 до 1,65 м, т. е. в 3 раза с соответствующим увеличением расхода алмазов с 1,02 до 3,14 карат/м.

В целом в процессе рейса механическая скорость бурения однослойной коронкой по мере износа или заполировки алмазов в матрице равномерно снижается. Повышение нагрузки на коронку в момент падения механической скорости бурения ниже

Таблица 2.2

Результаты стендовых исследований работоспособности алмазных коронок в
трещиноватых породах

Тип и диаметр алмазной коронки	Масса алмазов в коронке, карат	Степень трещиноватости породы	Количество обработанных коронки, шт.	Объем бурения, м	Механическая скорость бурения, м/ч			Расход алмазов, карат/ч			Возврат алмазом, карат	Загрузка мощности на бурение, кВт/ч		
					Средняя			Средняя						
					800	1200	1600	800	1200	1600				
01АЗ-46	6,5	Плотная	3	3,70	0,63	0,59	0,61	0,70	0,32	0,81	1,41	2,60	16,90	105
					1,07	1,00	0,98	1,51	1,02	1,53	3,14	15,60	3,90	121
07АЗ-45	6,8	Плотная	3	3,35	0,77	0,81	0,63	2,03	1,32	1,18	21,50	6,80	13,0	110
					1,38	1,33	1,82	2,78	1,12	10,2	12,00	6,10	14,20	13,0
05НЗ-46	7,6	Плотная	4	10,80	0,51	0,83	1,26	1,15	0,71	1,32	11,20	22,0	7,50	124
					1,00	1,05	0,95	1,65	1,18	6,95	—	18,20	4,30	14,0

определенного значения приводит к некоторому временному повышению скорости. Однако затем механическая скорость начинает снова падать, причем даже в более быстром темпе, чем до этого. Требуется новое повышение нагрузки на следующую ступень и так до полного износа коронки.

Режим, при котором начальная нагрузка на коронку была задана в пределах 800 кгс с дальнейшим повышением ее ступенями до 200 кгс (до 1000, 1200, 1400 и т. д.) по мере падения механической скорости бурения ниже определенного, заранее заданного значения (0,5 м/ч) и при постоянной частоте вращения снаряда 377 об/мин, оказался при бурении блока трещиноватого гранита коронкой 01АЗ наиболее благоприятным. Этот же режим оказался лучшим и при бурении трещиноватого гранита другими типами коронок.

5. Большое влияние оказывают применяемые режимы бурения и на выход керна и его состояние. Отмечено, что при повышении нагрузки на коронку с 800 до 1600 кгс выход керна изменяется, но незначительно, зато раздробленность керна резко возрастает.

Можно предположить, что увеличение осевых усилий при бурении трещиноватых пород приводит к резкому возрастанию напряжений в приповерхностной забойной зоне и в том числе на поверхности керна, в месте его перехода в массив породы. Это в свою очередь служит поводом для возникновения в породе трещин, расходящихся в стороны от площади непосредственного приложения нагрузки. В результате растрескивания керна ослабляется в поперечном сечении и часто получается в виде небольших по высоте плашек и мелочи. При этом возрастает число поверхностной трещины, часть керна превращается в шлам, степень дезинтеграции керна увеличивается. Создаются условия для частичной потери кернового материала в процессе дальнейшего бурения, заклинивания керна, подъема снаряда и т. п.

Таким образом, при бурении трещиноватых пород IX—X категории по буримости (типа гранитов) наиболее благоприятным сочетанием режимных параметров являются невысокие частоты вращения снаряда (до 400 об/мин) и средние значения нагрузок на коронку (800—1000 кгс).

Для более полной оценки работоспособности алмазных коронок в различных условиях большое значение имеет правильное определение характера и особенностей их износа. Износ алмазного инструмента представляет собой процесс, вызываемый в общем механическими причинами (эрозия, динамические нагрузки и пр.), которые постепенно ведут к потере режущей способности этого инструмента. Размер и природа износа находятся в прямой зависимости от условий работы инструмента, технологии его производства и других причин. Причины, влияющие на характер износа алмазного инструмента, можно объединить в три группы: геологические, технологические, технические. К причинам геологического характера следует отнести степень трещиноватости и аб-

разивность пород, структуру и текстуру пород, степень чередования пород разной твердости.

К причинам технологического характера, оказывающим влияние на износ алмазного инструмента, относятся применяемые режимы бурения, соблюдение технологических приемов работы, правильный выбор типа алмазной коронки и ряд других. К причинам технического характера следует отнести все, связанное с дефектами производства алмазного инструмента.

Определить причину преждевременного выхода алмазных коронок из строя и попытаться ее устранить часто бывает не просто. В определенной степени этому может помочь систематическое изучение и классификация различных видов износа алмазных коронок.

Для установления основных причин снятия алмазных коронок с работы в нескольких производственных организациях Мингео СССР и на КБЗАИ изучались закономерности износа 7280 алмазных коронок, отработанных в различных условиях. Так как интенсивность и характер износа находятся в прямой зависимости от условий работы инструмента, по каждой коронке оценивался вид износа и изучалось состояние объемных алмазов. Все виды износа коронок были сведены к следующим пяти основным типам.

I. Нормальный износ: равномерный износ матрицы по высоте, наружному и внутреннему диаметрам.

II. Технологический износ: зашлифование алмазов и матрицы коронки.

III. Абразивный износ: канавки по торцу, по наружной и внутренней поверхностям матрицы, износ передней части сектора, размыв матрицы и корпуса коронки.

IV. Механический износ: скол секторов, продольные и радиальные трещины в матрице, законусованность матрицы.

V. Аварийный износ: смятие матрицы и корпуса коронки, прижог коронки, следы воздействия металла на матрицу и др.

Установлено, что в целом только 19% всех отработанных коронок имеют нормальный износ, 7% — технологический, 58% — абразивный, 9% — механический и 7% — аварийный.

По состоянию и характеру износа алмазов отработанные коронки разделены на следующие виды: нормальный износ алмазов, алмазы зашлифованы, сильно обнажены, сколоты.

Исследование закономерностей износа алмазных коронок осуществлялось в зависимости от условий их применения: степени трещиноватости пород и их буримости. Для этого горные породы были разделены по степени трещиноватости на пять и по буримости на три группы.

Результаты проведенных исследований (табл. 2.3) показали, что по мере увеличения трещиноватости породы характер износа алмазных коронок постепенно изменяется, переходя от нормального к абразивному и механическому. Для каждой группы пород характерен какой-то один преобладающий вид износа коронок, который необходимо учитывать при выборе и разработке коронок

Основные виды износа алмазных коронок в зависимости от условий их применения

Степень трещиноватости горных пород	Категории горных пород по буримости					
	VII-VIII		IX-X		XI-XII	
	Преобладающий вид износа коронок (%)	Состояние алмазов	Преобладающий вид износа коронок (%)	Состояние алмазов	Преобладающий вид износа коронок (%)	Состояние алмазов
Монолитные	Нормальный (11) Технологический (7) Прочий (7)	Нормальное	Технологический (9) Нормальный (6) Прочий (8)	Нормальное или зашлифованы	Технологический (7) Нормальный (4) Прочий (4)	Нормальное или зашлифованы
	Абразивный (16) Нормальный (6) Прочий (4)	Нормальное или обожжены	Абразивный (19) Нормальный (6) Прочий (3)	Нормальное	Технологический (9) Абразивный (5) Прочий (1)	Нормальное или зашлифованы
Трещиноватые	Абразивный (18) Механический (3) Прочий (5)	Обожжены или сколоты	Абразивный (21) Механический (2) Прочий (4)	Обожжены или сколоты	Абразивный (29) Механический (3) Прочий (4)	Нормальное или сколоты
	Абразивный (7) Механический (3) Прочий (4)	Обожжены или сколоты	Абразивный (7) Механический (3) Прочий (3)	Обожжены или сколоты	Механический (9) Абразивный (8) Прочий (3)	Сколоты
Сильнотрещиноватые	Механический (4) Абразивный (3) Прочий (2)	Обожжены или сколоты	Механический (4) Абразивный (2) Прочий (3)	Сколоты	Механический (7) Абразивный (5) Прочий (2)	"



Рис. 2.3. Характерные виды износа алмазных коронок при бурении монолитных и трещиноватых горных пород.

а — нормальный износ алмазной коронки: равномерный износ матрицы по высоте, наружному и внутреннему диаметрам. *б* — технологический износ алмазной коронки: зашлифованные алмазы и матрицы коронки.

для пород этой группы. Приведенная классификация видов износа позволяет давать приближенную оценку степени трещиноватости проходимых пород, а также устанавливать закономерности износа алмазных коронок в зависимости от условий их применения. В частности установлено, что при бурении твердых и очень твердых плотных горных пород основной вид износа алмазных коронок технологический (т. е. зашлифование алмазов и матрицы). При бурении же в интересующих нас трещиноватых породах основным видом является механический и абразивный износ алмазной коронки. Алмазы в коронках, отработанных в трещиноватых породах, обычно бывают либо сколоты и выкрошены из матрицы, либо сильно обнажены.

Кроме трещиноватости на износ коронки влияет также твердость горной породы. Так, при бурении в твердых и очень твердых трещиноватых породах основным видом износа коронки является механический. Алмазы в большинстве отработанных коронок сколоты и выкрошены. Причем механический вид износа при бурении в таких породах присущ также и зарубежному инструменту. В частности, японские коронки фирмы Ничимен, обладающие более прочной матрицей, хотя и несколько реже, но также выходили из строя из-за скола секторов, трещин в матрице и других причин.

По мере уменьшения твердости или степени трещиноватости пород вид износа алмазных коронок меняется. Чаще происходит абразивный износ коронок. Причем в более твердых или трещиноватых породах абразивный износ чаще всего проявляется в образовании канавок по торцу или по наружной и внутренней поверхностям матрицы, а в менее твердых и трещиноватых — в размыве матрицы и корпуса коронок и в износе передней части сектора. Алмазы в таких коронках бывают, как правило, сильно обнажены.



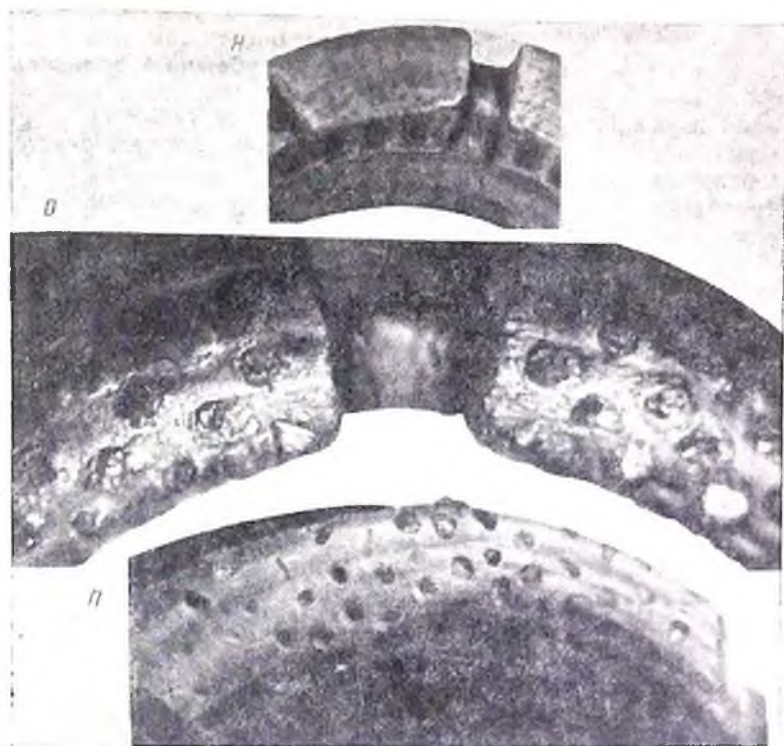
Продолжение рис. 2.3.

a—ж — абразивный износ алмазной коронки: канавка по торцу (*b*), канавка по наружной (*e*) и внутренней (*d*) поверхностям матрицы, разрыв корпуса и матрицы коронки, износ передней части сектора (*e*, *ж*).



Продолжение рис. 23.

а-к — механический износ алмазной коронки: скол секторов (а), продольные и радиальные трещины в матрице (б), закопченность матрицы (в), д и е — эвристика износа и смазанной коронки: смятие матрицы (д), прирост коронки (е).



Продолжение рис. 2.3.

н — состояние и характер износ алмазов, нормальное состояние алмазов (н), алмазы сильно обнажены (о), алмазы зашлифованы (см. рис. 2.3, б), алмазы сколоты (п).

Большое влияние на износ алмазной коронки оказывает применяемый режим бурения. Наблюдения за работой большой группы алмазных коронок, проведенные на месторождениях Горной Шории, Приморья и Кривбасса, показали, что применение при бурении в трещиноватых породах высоких частот вращения бурового снаряда приводит к скалыванию и выкрашиванию алмазов из матрицы коронки. Применение высоких нагрузок на коронку вызывает ее механический износ. В обоих случаях коронка преждевременно снимается с работы.

Резко усиливается износ алмазных коронок и в случае неправильного выбора их типа, проведенного без учета специализации коронок. Причем если в плотных, монолитных породах применение неправильно подобранных по типу коронок не так сильно отражается на их износе, то при бурении в трещиноватых породах износ таких коронок увеличивается в несколько раз. Наиболее характерные виды износа алмазных коронок при бурении монолитных и трещиноватых горных пород показаны на рис. 2.3.

2.3. Сравнительная оценка работоспособности алмазных коронок отечественного и зарубежного производства

Для изучения зарубежного опыта бурения скважин в трещиноватых породах, а также для оценки уровня отечественного породоразрушающего инструмента, используемого в таких условиях, в Кривбассе были проведены сравнительные испытания отечественного и зарубежного инструмента.

В партию алмазного инструмента входили 200 алмазных коронок, 45 расширителей и 14 двойных колонковых труб фирм Лонгир и Ничимен. Алмазные импрегнированные коронки по рекомендации самих фирм предназначены для бурения твердых и очень твердых трещиноватых горных пород типа железистых роговиков и кварцитов. Перед началом работы были тщательно изучены все конструктивные особенности зарубежных алмазных коронок.

Алмазные импрегнированные коронки фирмы Лонгир (США) (рис. 2.4) имеют плоский торец и твердую или нормальную (стандартную) матрицу; насыщенность матрицы коронки алмазами стандартная. Коронки армированы мелкими объемными алмазами зернистостью 500—700 шт./карат. Наружный диаметр коронок стандарта NХТ (стандарт европейский) 76, внутренний — 62 мм. Количество промывочных каналов — 6. Толщина матрицы у коронок 7,0 мм.

Японские алмазные импрегнированные коронки фирмы Ничимен имеют плоский торец и ребристую боковую внутреннюю и наружную поверхность (рис. 2.4). Это алмазные коронки стандарта NХ (американский стандарт) с твердой матрицей типа STH, насыщенность матрицы алмазами — стандартная. Крупность объемных алмазов колеблется от 120—150 до 300—400 шт./карат. Подрезные, довольно крупные (20—30 шт./карат) алмазы расположены в продольных ребрах по внутренней и наружной поверхностям матрицы в два-три ряда. Количество промывочных каналов 8. Наружный диаметр коронки по этому стандарту 75,2, внутренний — 55 мм, толщина матрицы 10,1 мм.

Отечественный инструмент был представлен наиболее распространенными в бассейне алмазными импрегнированными коронками типа 02ИЗ для бурения с одинарными колонковыми трубами и алмазными импрегнированными коронками 11ИЗ для бурения с двойными колонковыми трубами типа ТДН-76-2. Алмазные коронки типа 02ИЗ и 11ИЗ имеют ползакругленный профиль торца, нормальную матрицу твердостью 20—25 НРС с шестью промывочными каналами. Коронки армированы объемными алмазами зернистостью от 120—150 до 300—400 шт./карат, подрезные алмазы зернистостью 30—40 или 40—60 шт./карат. Наружный диаметр коронки 02ИЗ 76,0, внутренний — 59 мм, толщина матрицы 8,5 мм. Наружный диаметр коронки 11ИЗ 76, внутренний — 53 мм, толщина матрицы 11,5 мм.



Рис. 2.4. Алмазные импрегнированные коронки фирм Лонгир (б) и Ничимен (а).

Таким образом главной особенностью исследуемых коронок была разная толщина их матриц: от 7,0 до 11,5 мм.

Для выявления отдельных скрытых особенностей зарубежного инструмента некоторые алмазные коронки фирмы Лонгир и фирмы Ничимен были просвечены на гамма-установке РИД-21М в гамма-дефектоскопической лаборатории ВИТР. Просвечивание коронок проводилось гамма-излучением источника иридия-192, помещенного внутри коронки на уровне матрицы. Рентгеновская пленка располагалась с внешней стороны коронки. Время просвечивания в зависимости от толщины матрицы и диаметра коронки колебалось в пределах от 2 до 6 мин при активности источника 0,3 грамм-эквивалента радия (≈ 1 кюри). На полученном таким образом гамма-снимке видно негативное изображение коронки в развернутом виде. Темные пятна и менее темные полосы под ними — это промывочные каналы, между которыми расположены сектора матрицы коронки. В каждом секторе видна полоса из мелких зерен — насыщенный алмазами импрегнированный слой матрицы. Под ним безалмазный слой матрицы, на фоне которой просматриваются подрезные алмазы: крупные — внутренние, мелкие и более темные — внешние. Ниже этого слоя начинается темная широкая полоса — корпус коронки. Гамма-снимки позволили установить следующие дополнительные конструктивные особенности алмазных коронок данного типа:

- коронки не имеют вкладышей для промывочных каналов;
- матрица коронки делается как сплошное кольцо, которое прессуется и подпрессовывается до полного изготовления всей коронки;

— подрезные алмазы в матрице коронки расположены по схеме сдвинутых пар;

— площадь припоя корпуса коронки с матрицей увеличена за счет выступа на торце стального корпуса. Коронки диаметром 76 мм имеют на торце корпуса плоский выступ толщиной около 1,0 мм с узкими (около 3,0 мм) вырезами, расположенными хаотически относительно промывочных каналов.

Анализ гамма-снимков отечественных алмазных коронок подобно типу (например, типа 02НЗ), которые были просвечены по той же схеме, что и зарубежные коронки, позволил отметить следующее:

— импрегнированный слой матрицы отечественных алмазных коронок меньше насыщен алмазами, чем в зарубежных коронках;

— алмазы в матрице импрегнированной коронки распределены менее равномерно, чем в коронках зарубежного производства;

— наличие в отечественных коронках вставок приводит к появлению дополнительных нарушений сплошности в коронке: появлению трещин, каверн под вкладышами и т. д.

— при прессовании часть матрицы уходит в промежуток между вставкой для промывочных каналов и выступом на корпусе коронки и «тянет» за собой импрегнированный слой. Это также приводит в процессе бурения к преждевременному разрушению матрицы, размыву ее и т. п.

Проверка работоспособности алмазных коронок отечественного и зарубежного производства была проведена на двух рядом расположенных скважинах в Криворожской ГРЭ. Геологические и технические условия бурения на обеих скважинах были совершенно одинаковыми. Бурение велось станками СБА с числом оборотов в минуту от 230 до 800 по очень твердым, трещиноватым джеспилитам и роговикам мартит-гематитового и гётит-гематитового состава XI—XII категорий по буримости. Твердость (по штампу, P_{III}) образцов горных пород, отобранных на этих скважинах в процессе испытаний зарубежного и отечественного инструмента, составила 720, 740, 760, 780, 820 и 860 кгс/мм².

Сравнительные результаты работы отечественного и зарубежного инструмента по этим породам приведены в табл. 2.4. Кроме того, часть зарубежного инструмента была отработана при бурении глубоких скважин в менее сложных условиях (табл. 2.5). Из приведенных в таблицах данных видно, что зарубежный инструмент фирм Лонгир и Ничимен не показал при проведении испытаний преимуществ в сравнении с отечественным. При бурении в весьма сложных условиях Кривбасса по сильнотрещиноватым очень твердым джеспилитам и роговикам 5-го и 6-го железистых горизонтов работоспособность инструмента зарубежного производства оказалась на уровне (инструмент фирмы Ничимен) или даже ниже (инструмент фирмы Лонгир) работоспособности инструмента отечественного производства. При бурении же в менее сложных (типовых) условиях Кривбасса работоспособность зарубежного и отечественного инструмента практически одинакова.

Таблица 2.4

Сравнительные результаты работы зарубежного и отечественного инструмента в сложных условиях бурения по породам 5-го и 6-го железистых горизонтов Кривбасса (по данным непрерывного хронометража)

Тип алмазной коронки	Тип колонковой трубы	Объем бурения, м	Средняя проходка на коронку, м	Средняя проходка за рейс, м	Механическая скорость бурения, м/ч	Выход керна, %
Лонгир	Двойная	10,82	0,51	0,42	0,62	96,4
Ничимен	"	97,56	4,43	1,23	0,64	98,2
ИИЗ	Двойная ТДН-76-2	38,35	4,84	1,13	0,85	97,8
Лонгир	Одиная	16,70	1,85	1,67	1,78	46,6
Ничимен	"	48,40	3,45	1,56	0,61	45,9
ОИЗ	"	47,52	3,38	1,53	1,17	48,3

Таблица 2.5

Сравнительные результаты бурения отечественными и зарубежными коронками в монолитных и слаботрешиноватых породах 6-го и 7-го железистых горизонтов Кривбасса (интервал бурения 120—1450 м, скв. 15140 и др.)

Тип алмазной коронки	Диаметр коронки, мм	Тип колонковой трубы	Объем бурения, м	Средняя проходка на коронку, м	Средняя проходка за рейс, м	Механическая скорость бурения, м/ч	Выход керна, %
Лонгир	76	Двойная	86,12	9,56	3,18	0,63	98
"	76	Одиная	23,70	2,96	2,96	1,10	85
ОИЗ	76	"	281,38	14,65	2,63	0,79	82

В результате проведенных исследований установлено, что при бурении в очень твердых трещиноватых породах зарубежный инструмент проявляет те же закономерности и особенности в работе, что и инструмент отечественного производства. В частности, установлено, что с увеличением трещиноватости пород проходка за рейс и механическая скорость бурения возрастают примерно одинаково при использовании как зарубежного, так и отечественного инструмента (табл. 2.6), причем при бурении с частотой вращения бурового снаряда в пределах от 300 до 600 об/мин проходка за рейс возрастает, а при дальнейшем повышении этого параметра (более 600 об/мин) начинает падать из-за более частых самозаклиниваний керна в колонковой трубе (рис. 2.5). Стойкость зарубежных коронок с увеличением трещиноватости пород, так же как и отечественных, резко снижается. Интенсивный износ зарубежных коронок начинается по мере увеличения частоты вращения бурового снаряда с 200—300 об/мин. Особенно заметное снижение стойкости наблюдается у коронок фирмы Лонгир, япон-

Таблица 2.6

Данные об изменении механической скорости бурения и проходки за рейс в зависимости от степени трещиноватости пород при работе с инструментом отечественного и зарубежного производства

Тип колонкопной трубы и коронки	Степень трещиноватости пород*	Объем бурения, м	Средняя проходка за рейс, м	Механическая скорость бурения, м/ч
Двойная Лонгир	Сильнотрещиноватые	15,75	0,53	1,11
	Средне- и слаботрещиноватые	15,07	0,34	0,34
Двойная Ничимен	Сильнотрещиноватые	38,20	1,89	1,43
	Средне- и слаботрещиноватые	59,30	1,12	0,51
Двойная отечественная с коронкой 11ИЗ	Сильнотрещиноватые	16,50	1,83	1,22
	Средне- и слаботрещиноватые	21,85	0,88	0,70
Однорядная Лонгир	Сильнотрещиноватые	19,92	1,98	2,82
	Средне- и слаботрещиноватые	16,78	1,35	1,11
Однорядная Ничимен	Сильнотрещиноватые	28,10	1,75	0,70
	Средне- и слаботрещиноватые	20,30	1,35	0,47
Однорядная отечественная с коронкой 02ИЗ	Сильнотрещиноватые	36,40	2,08	1,50
	Средне- и слаботрещиноватые	11,20	0,80	0,61

* Горные породы: джеспилиты и роговики маргит-гематитового и гётит-гематитового состава XI—XII категории по буримости.

ские импрегнированные коронки фирмы Ничимен и отечественные импрегнированные коронки типа 11ИЗ с утолщенной и более прочной матрицей обладают большей стойкостью.

2.4. Влияние основных параметров алмазных коронок на их работоспособность

К основным функциональным и конструктивным параметрам алмазных коронок относятся зернистость и качество алмазов, насыщенность алмазами матрицы, твердость матрицы, выпуск алмазов из матрицы, форма матрицы и ширина торца коронки. Каждый из перечисленных параметров при работе коронки в конкретных условиях оказывает большее или меньшее влияние на ее работоспособность в целом. Рассмотрим степень влияния основных параметров алмазных коронок на их работоспособность при бурении в трещиноватых горных породах.

Зернистость объемных алмазов. Выбор рациональной зернистости объемных алмазов в коронке зависит в ос-

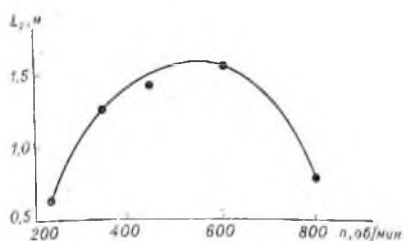


Рис. 2.5. Зависимость проходки за рейс L_p от частоты вращения бурового снаряда n при бурении очень твердых и трещиноватых горных пород.

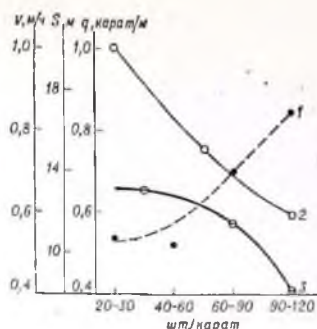


Рис. 2.6. Зависимость расхода алмазов в каратах на 1 м бурения q (1), проходки на коронку S (2) и механической скорости бурения v (3) от зернистости алмазов в объемном слое матрицы.

новном от твердости и трещиноватости породы. Считается, что с увеличением твердости пород эффективность работы более мелких алмазов по сравнению с более крупными возрастает. Большую эффективность применения мелких алмазов при бурении твердых и весьма твердых горных пород объясняют тремя причинами: увеличением удельного давления на контакте более мелкого алмаза по сравнению с более крупным, увеличением числа резов, уменьшением возможности заполирования более мелких алмазов по сравнению с крупными. Принято также считать, что при бурении в трещиноватых породах мелкие алмазы как структурно более прочные работают эффективнее крупных.

В настоящее время отечественная промышленность выпускает коронки, армированные природными алмазами зернистостью от 2—5 до 400—800, 800—1200 и даже 1200—1600 шт./карат (алмазы групп А63, А50 и А40 соответственно). Для установления влияния зернистости объемных алмазов на работоспособность алмазных коронок проанализированы результаты отработки 7878 коронок.

Зависимость расхода алмазов, проходки на коронку и механической скорости бурения от зернистости объемных алмазов показана на рис. 2.6. График составлен по результатам отработки 1505 коронок с твердостью матрицы 20—25 НРС в различных по твердости и трещиноватости породах. Как явствует из графика, все средние показатели работоспособности коронок снижаются с уменьшением крупности объемных алмазов, т. е. с повышением их зернистости в пределах от 20—30 до 90—120 шт./карат. Такое снижение показателей закономерно, так как коронки, армированные более мелкими алмазами, обрабатывались в более крепких породах.

Для определения наиболее рациональной зернистости объемных алмазов, используемых при бурении пород различной твер-

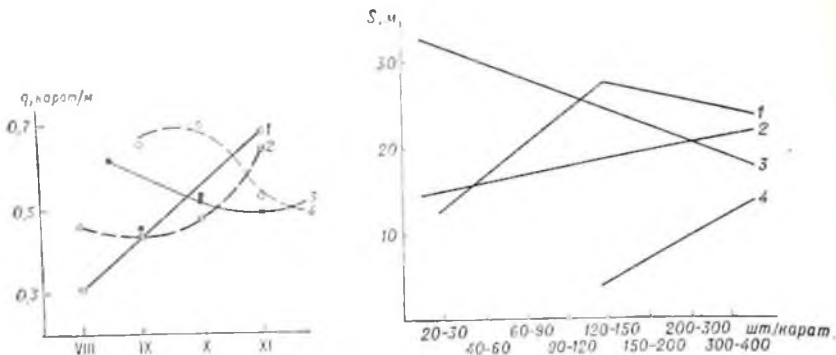


Рис. 2.7. Зависимость расхода алмазов q в каратах на 1 м бурения от категории пород по буримости для коронок, армированных объемными алмазами различной зернистости.

Зернистость объемных алмазов, шт./карат: 1 — 20—30; 2 — 40—60; 3 — 60—90; 4 — 90—120.

Рис. 2.8. Зависимость проходки на коронку S от зернистости объемных алмазов при бурении

Горные породы: 1 — известняковые брекчии VIII—IX категории по буримости; 2 — диориты, диоритовые порфиры и порфиристы, фельзит-порфиры IX—XI категории по буримости; 3 — туфы и туфолавы лаваритовых порфиров VIII—IX категории по буримости; 4 — кремнистые породы X—XI категории по буримости (по данным бурения на месторождениях Дальнегорской ГРЭ).

дости, проанализирована зависимость расхода алмазов от категории пород по буримости: $q=f(K)$. При установлении этой зависимости использовались результаты работы коронок, армированных объемными алмазами разной зернистости (рис. 2.7).

В результате анализа данных, характеризующих зависимость показателей работы коронок от зернистости объемных алмазов, выявлено следующее:

- зернистость объемных алмазов существенным образом влияет на работоспособность алмазных коронок;

- выбор рациональной зернистости объемных алмазов в большей мере зависит от твердости пород, в которых будет проводиться бурение;

- при выборе рациональной зернистости объемных алмазов и типа коронок для бурения трещиноватых пород необходимо в первую очередь учитывать твердость этих пород. По мере увеличения твердости пород зернистость объемных алмазов в коронках должна повышаться.

Эти закономерности общего характера, полученные в результате обобщения и анализа большого количества статистических данных о работе алмазных коронок, полностью подтверждаются конкретными примерами. В частности, на рис. 2.8 и 2.9 показана зависимость работоспособности алмазных коронок от зернистости объемных алмазов при бурении в конкретных горных породах от VII до XI категории по буримости. График построен по дан-

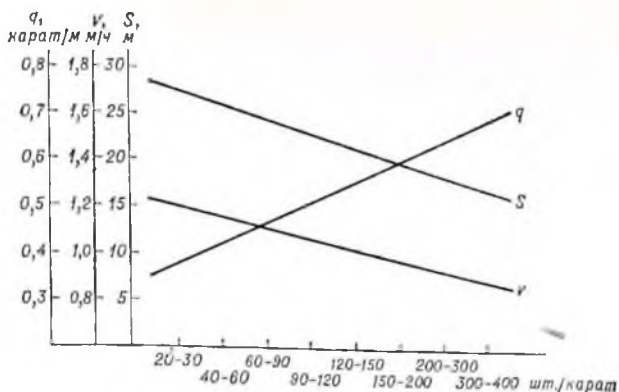


Рис. 2.9. Зависимость работоспособности коронок от зернистости объемных алмазов при бурении по алевролитам VII—IX категории по буримости (по данным бурения на месторождениях Дальнегорской ГРЭ).

ным алмазного бурения на месторождениях Приморья (Дальнегорская ГРЭ).

Анализируя приведенную зависимость, можно отметить следующее:

- при бурении в любой породе все показатели работы алмазных коронок зависят от зернистости объемных алмазов;
- с увеличением твердости горных пород зернистость объемных алмазов в коронке должна повышаться.

Следует заметить, что все установленные здесь зависимости справедливы для коронок, армированных алмазами зернистостью от 2—10 до 300—400 шт./карат. А как будут работать коронки, армированные еще более мелкими алмазами? Для проверки этого вопроса были проанализированы результаты отработки специальной партии алмазных импрегнированных коронок типа ИМВ-4, ИМВ-5 и ИМВ-6, армированных соответственно алмазами групп А63, А50 и А40 зернистостью 400—800, 800—1200 и 1200—1600 шт./карат. По конструкции и составу матрицы коронки этих типов аналогичны серийно выпускаемым коронкам типа 02ИЗ и отличаются от них большей насыщенностью алмазами матрицы коронок и использованием в качестве объемных более мелких алмазов. Рациональная степень насыщенности опытных коронок мелкими объемными алмазами была установлена в процессе их отработки на стендах ВИТР. По сравнению с коронками 02ИЗ опытные коронки изготавливались с полуторной, двойной и даже тройной насыщенностью матрицы объемными алмазами. При этом считалось, что высокая насыщенность матрицы мелкими алмазами делает эти коронки менее восприимчивыми, чем серийные 02ИЗ, к ударным нагрузкам, неизбежно возникающим при бурении в трещиноватых породах, что обеспечивает им тем самым более высокую стойкость.

Однако анализ результатов обработки на месторождениях Западной Сибири, Грузии, Киргизии и Кринбасса опытных алмазных коронок ИМВ-4, ИМВ-5 и ИМВ-6, армированных мелкими объемными алмазами, показал, что расход алмазов при работе этими коронками оказывается в 1,3—1,9 раза больше, чем при использовании серийных коронок 02ИЗ с более крупными алмазами (табл. 2.7). Бурение проводилось в твердых горных породах типа гранитов, диоритов, амфиболитов, гнейсов, роговиков, кварца, пегматитов и кварцитов различной степени трещиноватости.

Таблица 2.7

Результаты обработки алмазных импрегнированных коронок, армированных мелкими объемными алмазами

Тип алмазных коронок	Трещиноватость объемных алмазов, по Федору	Масса алмазов в одной коронке, карат	Объем бурения, м ³	Среднее значение качества при бурении	Средняя проходка на коронку, м	Расход алмазов, карат/м	Механическая скорость бурения, м/ч
02ИЗ 59	150—400	12,5	7700	10,1	17,1	0,776	0,82
ИМВ 4-59	300—800	19,2	5400	10,1	23,0	0,858	0,79
ИМВ 5-59	800—1200	27,2	3010	10,2	21,4	1,088	0,77
ИМВ 6-59	1200—1600	23,1	757	10,3	15,4	1,500	0,70

Механическая скорость бурения коронками с мелкими алмазами также оказалась ниже, чем при бурении коронками 02ИЗ. Сущность этого явления хорошо объясняется особенностями механизма разрушения трещиноватых горных пород. При бурении таких пород образуется большое количество крупных частиц шлама. Мелкие алмазы, которыми армирована коронка, не обеспечивают необходимых условий для быстрого износа этих частиц из-под торца коронки. В результате большинство крупных частиц шлама вторично перемещается под торцом коронки, вызывая усиленный износ матрицы. Это в свою очередь приводит к повышению расхода алмазов и снижению механической скорости бурения. Следы воздействия крупных частиц шлама на матрицу коронки, оставшиеся на торце коронки в виде кольцевых каналов, показаны на рис. 2.10.

Результаты обработки опытных коронок в производственных условиях были подтверждены стендовыми испытаниями коронок с мелкими алмазами. Механическая скорость бурения коронок, армированных алмазами зернистостью 200—400 и 400—800 шт./мм², составила соответственно 1,41 и 1,28 м/ч. Таким образом, при бурении в трещиноватых породах применение коронок с очень мелкими объемными алмазами неэффективно.

Выбор оптимальной зернистости объемных алмазов в большей мере зависит от твердости горных пород, в которых будет прово-

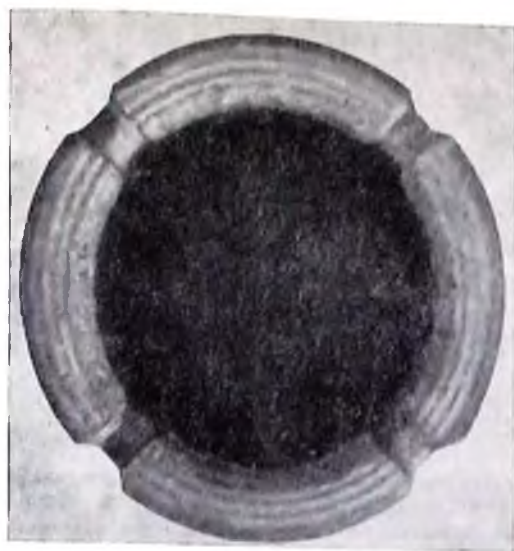


Рис. 2.10. Кольцевые канавки по торцу коронки, образовавшиеся в результате повторных перетираций крупных частиц шлама на забое скважины.

даться бурение, чем от степени их трещиноватости. По мере увеличения твердости пород крупность объемных алмазов в коронке должна уменьшаться.

Качество алмазов. Работоспособность алмазной коронки в значительной степени зависит от качества тех алмазов, которыми она армирована. Причем особенно большое значение приобретает этот факт при бурении трещиноватых пород. Замечено, например, что коронки, армированные так называемыми овализованными более прочными алмазами, при бурении в трещиноватых породах работают гораздо эффективнее коронок с необработанными или дроблеными алмазами.

Накопленный фактический материал о работе алмазных коронок, армированных в различных сочетаниях алмазами разного качества, позволяет оценить и проанализировать целесообразность применения алмазов того или иного качества в буровых коронках [12, 13]. При этом оценка степени влияния качества алмазов на работоспособность коронки производилась с учетом зернистости объемных алмазов.

На рис. 2.11 и 2.12 показана общая зависимость расхода алмазов и проходки на коронку от зернистости и качества алмазов. Приведенная зависимость четко показывает, что наиболее высокую стойкость при минимальном расходе алмазов имеют коронки, полностью (или хотя бы частично, и в качестве подрезных) армированные овализованными алмазами. Стойкость коронок, армированных объемными дроблеными и подрезными естественными алмазами, оказывается значительно ниже, а расход алмазов — больше.

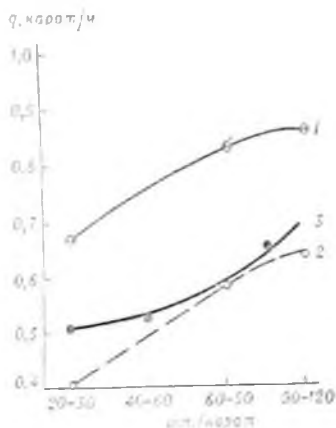


Рис. 2.11. Зависимость расхода алмазов q от зернистости алмазов в объемном слое матрицы и качества алмазов. Твердость матрицы коронки 20—25 НРС.

Коронки армированы алмазами: 1 — подрезные — естественные, объемные — дробленые; 2 — подрезные — овалованные, объемные — дробленые; 3 — подрезные — овалованные, объемные — овалованные.

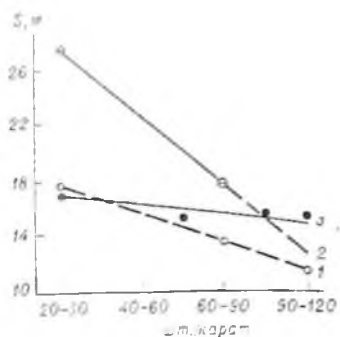


Рис. 2.12. Зависимость проходки на коронку S от зернистости алмазов в объемном слое матрицы и качества алмазов. Твердость матрицы коронки 20—25 НРС.

Условные обозначения см. на рис. 2.11.

Проверка гипотезы о лучшей работе коронок с овалованными алмазами при бурении трещиноватых пород была осуществлена на железорудных месторождениях Горной Шории [14]. Бурение велось станками ЗИФ-650А и ЗИФ-1200А по трещиноватым породам типа диоритов, гранодиоритов, гранитов, магнетитовых руд, альбитофиров, пироксеновых и гранатовых скарнов и другим породам X—XI категории по буримости. Средневзвешенная категория пород составила 10,4.

Результаты отработки коронок в сопоставимых условиях на железорудных месторождениях Горной Шории (табл. 2.8) показывают, что при бурении в твердых трещиноватых породах работоспособность коронок, армированных (полностью или частично) овалованными алмазами, значительно выше, чем коронок с необработанными дроблеными или естественными алмазами. Характер износа этих коронок свидетельствует о более высокой стойкости овалованных алмазов. В частности, ни одна из коронок, армированных овалованными подрезными алмазами, не была снята с работы из-за износа по диаметру, хотя, как указывалось выше, бурение осуществлялось по твердым трещиноватым, а значит и весьма абразивным породам, у 94—95% коронок с подрезными овалованными алмазами после их полной отработки наружный и внутренний диаметры по сравнению с первоначальными размерами не изменились совершенно и только у 5—6% коронок изменились незначительно (до 0,5 мм). В то же время внутренний

Таблица 28

Результаты обработки коронок, армированных алмазами различного качества, в твердых трещиноватых горных породах

Тип алмазной коронки	Качество алмазов		Зернистость объемных алмазов, шт./карат	Средняя проходка на коронку, м	Расход алмазов, карат/м	Механическая скорость бурения, м/ч
	объемных	подрезных				
АКО-1-59	Оваллизованные		20—30	20,9	0,430	0,53
АК-1П-59	Дробленые	Оваллизованные	20—30	18,7	0,534	0,58
АК-1-2-59		Естественные	20—30	16,6	0,603	0,50
АКО-3-59	Оваллизованные		60—90	18,2	0,577	0,46
АК-3П-59	Дробленые	Оваллизованные	60—90	18,6	0,537	0,57
АК-3-2-59		Естественные	60—90	15,8	0,633	0,31
ИМВО-3-59	Оваллизованные		120—150	22,0	0,498	0,44
ИМВ-3-2-59	Дробленые	Естественные	120—150	16,2	0,740	0,37

Примечание. Общий объем исследованных коронок составил 940 штук.

и наружный диаметры значительной части коронок с необработанными подрезными алмазами изменялись на 0,5—1,5 мм. Из каждых 100 штук таких коронок 20—25 снимались с работы преждевременно из-за потери диаметров.

Кроме того, изменился сам характер износа алмазов. Так, если при бурении в трещиноватых породах необработанные дробленые алмазы скалываются и выкрашиваются из матрицы, то износ оваллизованных алмазов происходит главным образом за счет их истирания в процессе работы. Матрицы коронок с оваллизованными алмазами не имеют ни гнезд от выкрошенных алмазов, ни сколотых или раздробленных зерен. Выход алмазов из отработанных коронок после их рекуперации у коронок с оваллизованными алмазами значительно выше (от 25,6 до 35,6%), чем у коронок, армированных необработанными алмазами [в среднем 20,7% по данным Кабардино-Балкарского завода алмазных инструментов (КБЗАИ)].

Для уточнения степени влияния качества алмазов на работоспособность коронок в ВИТР была изготовлена и отработана на буровых стендах специальная партия однослойных алмазных коронок типа ОАЗ диаметром 46 мм, армированных полированными, оваллизованными и дроблеными алмазами зернистостью 20—30 шт./карат. Обработка коронок проводилась при бурении специально подготовленных блоков трещиноватого мелкозернистого гранита станками СБА-500 и ЗИФ-650М.

Результаты стендовых испытаний, приведенные в табл. 2.9, показывают, что работоспособность коронок, армированных полированными алмазами, значительно выше, чем коронок с дроблеными и даже оваллизованными.

Применение на месторождениях Кривбасса, Средней Азии коронок, армированных полированными алмазами, полностью подтвердило результаты стендовых исследований. Во всех случаях ко-

Результаты стендовых испытаний алмазных коронок типа 01АЗ-46, армированных объемными алмазами различного качества

Качество объемных алмазов	Масса алмазов в коронке, карат	Объем бурения, м	Средняя проходка на коронку, м	Расход алмазов, карат/м	Механическая скорость бурения, м/ч
Полированные	6,305	74,4	12,4	0,51	2,10
Овалированные	6,220	26,4	8,8	0,71	1,74
Дробленые	7,320	21,0	7,0	0,99	1,70

коронки с полированными алмазами работают в трещиноватых, особенно твердых, породах лучше, чем коронки с дроблеными алмазами. Замена в коронках дробленых алмазов такими же по крупности полированными значительно увеличивает общую работоспособность этих коронок. Следовательно, матрицу коронки, предназначенную для бурения трещиноватых пород, целесообразнее армировать более прочными алмазами, например овалированными или полированными.

Насыщенность матрицы алмазами. Одним из важных конструктивных элементов алмазных коронок, определяющим в какой-то степени их специализацию, является насыщенность матрицы коронки алмазами. Результаты отработки опытных коронок с различной насыщенностью матрицы алмазами показали, что работоспособность алмазных коронок существенно зависит от этого параметра.

Считается, что рациональная насыщенность коронок объемными алмазами зависит от прочности горных пород. С возрастанием прочности горных пород количество объемных алмазов в коронке должно увеличиваться. Насыщенность коронки алмазами должна быть такова, чтобы умеренная нагрузка обеспечивала умеренную механическую скорость бурения. Слишком много режущих элементов требует высоких нагрузок на коронку, что не всегда можно осуществить. Недостаточное число режущих элементов ведет к большой нагрузке на каждый алмаз, а так как алмазы сами по себе мелкие, то нагрузка превышает прочность алмаза, и он колется.

Иными словами, рациональная насыщенность коронок весьма существенно зависит от той работы, которую выполняют алмазы. Поэтому рациональное количество объемных алмазов достаточно точно может быть установлено эмпирическим путем на основании анализа работоспособности алмазных коронок в конкретных условиях.

Достаточно детальное исследование насыщенности импрегнированных коронок объемными алмазами было проведено П. П. Поно-

маревым и О. В. Ивановым [15] на железорудных месторождениях Кривого Рога при бурении комплекса роговиков различной твердости. Для установления зависимости технических показателей бурения от насыщенности матрицы коронки объемными алмазами в условиях Криворожского железорудного бассейна были проведены испытания опытной партии импрегнированных коронок.

Анализ результатов этих испытаний показал, что максимальные механические скорости бурения, проходки за рейс и проходки на коронку до износа получены при бурении горных пород импрегнированными коронками, имеющими оптимальную для данных условий бурения насыщенность матрицы алмазами. Так, при бурении роговиков различной твердости увеличение количества объемных алмазов в матрице коронки приводило к возрастанию механической скорости бурения. Темп роста механической скорости бурения замедлялся с увеличением твердости горных пород (рис. 2.13).

Характер изменения проходки за рейс также зависел от твердости горных пород (рис. 2.14). С увеличением насыщенности матрицы коронки алмазами проходка за рейс сначала возрастала, а затем темп роста замедлялся и проходка оставалась на одном уровне или даже начинала падать. Примерно такое же влияние оказало изменение насыщенности матрицы алмазами на проходку на коронку (рис. 2.15).

Значения рациональной насыщенности импрегнированных коронок объемными алмазами, полученные в результате выполненных исследований, приведены в табл. 2.10.

А какое влияние оказывает насыщенность коронки на ее работоспособность при бурении в трещиноватой породе? Проведенные автором экспериментальные исследования позволили установить, что при бурении в твердых трещиноватых породах с увеличением насыщенности матрицы коронки алмазами удельный расход алмазов увеличивается. Поэтому насыщенность матрицы алмазами в коронках, предназначенных для бурения твердых трещиноватых пород, не должна быть слишком высокой.

Основным видом износа алмазных коронок в трещиноватых, особенно твердых породах является механический износ. Зачастую независимо от количества алмазов в коронке последняя снимается с работы из-за скола секторов, трещин в матрице и тому подобных причин, хотя полностью весь ресурс не использован. И в этом

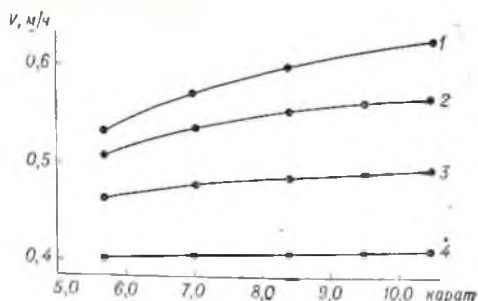


Рис. 2.13. Зависимость механической скорости бурения v от массы объемных алмазов в матрице.

Твердость горных пород, кгс/мм²: 1 — 200—400; 2 — 400—600; 3 — 600—800; 4 — более 800.

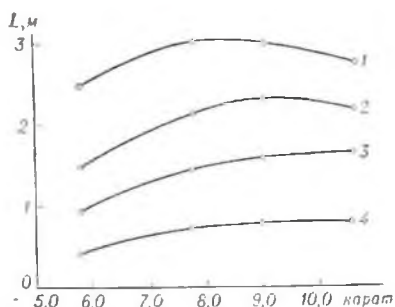


Рис. 2.14. Зависимость проходки за рейс L от массы объемных алмазов в матрице.

Твердость горных пород, кгс/мм²: 1 — 200—400, 2 — 400—600, 3 — 600—800, 4 — более 800.

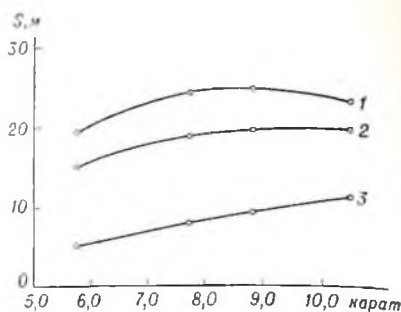


Рис. 2.15. Зависимость проходки на коронку S от массы объемных алмазов в матрице.

Твердость горных пород, кгс/мм²: 1 — 400—600, 2 — 600—800, 3 — более 800.

случае применение коронок с невысокой насыщенностью матрицы алмазами должно повысить эффективность работы коронок в трещиноватых породах хотя бы за счет снижения удельного расхода алмазов.

Вторым моментом, играющим немаловажную роль при работе алмазной коронки в трещиноватых породах, является износ самих алмазов, их скалывание, выкрашивание из матрицы и т. д. В то же время известно, что скалывание даже небольшого числа алмазов приводит к образованию на матрице коронки концентрических канавок, делающих коронку непригодной для дальнейшей эксплуатации. Таким образом, и здесь большое количество алмазов в коронке не всегда оправдывает себя полностью. Случаи же, когда при бурении в твердых трещиноватых породах удается полностью использовать весь ресурс коронки, чрезвычайно редки. Поэтому часть алмазов в коронке либо не используется полностью из-за преждевременного снятия ее с работы, либо расходуется зря.

Таблица 2.10

Рациональная насыщенность матрицы импрегнированных коронок объемными алмазами

Твердость горных пород ($P_{шт}$), кгс/мм ²	Рациональная насыщенность коронок объемными алмазами, карат на 1 см ³ объема матрицы	Масса алмазов, карат, в коронках диаметром		
		76 мм	59 мм	46 мм
400—600	1,74—1,96	11,2—12,6	8,0—9,0	5,2—5,8
600—800	1,96—2,18	12,6—14,0	9,0—10,0	5,8—6,4
Более 800	2,18—2,60	14,0—16,8	10,0—12,0	6,4—7,8

С другой стороны, с увеличением трещиноватости пород общая их прочность снижается. Соответственно должно уменьшаться и количество объемных алмазов в коронке. Кроме того, уменьшение насыщенности матрицы коронки алмазами способствует улучшению условий очистки забоя скважины от частиц крупного шлама.

Установленная экспериментальным путем рациональная насыщенность матрицы коронки алмазами должна составлять для коронок диаметром 59 мм, предназначенных для бурения монолитных горных пород, от 12,0 до 10,0 карат; для коронок того же диаметра, предназначенных для бурения трещиноватых пород — от 10,0 до 9,0 карат и для бурения сильнотрещиноватых пород — от 9,0 до 6,0 карат и менее.

Выпуск алмазов из матрицы. При бурении в трещиноватых породах однослойными коронками выпуск алмазов из матрицы этих коронок должен быть минимальным. Это бесспорное положение может быть однако нарушено в случае, если бурение ведется по породам трещиноватым, но не очень твердым (VI—VIII категорий по буримости). Причем с увеличением твердости пород работоспособность коронок с выпуском алмазов из матрицы резко снижается.

Этот факт хорошо иллюстрируется данными испытаний опытной партии коронок типа 07АЗ (АКМ-59), армированных алмазами зернистостью 20—30 шт./карат с заданным выпуском алмазов из матрицы. Бурение коронками осуществлялось по трещиноватым мелкозернистым дюритам, диабазам, известнякам и скарнам VII—X категории по буримости на месторождениях Горной Шории. Результаты испытаний этих коронок приведены в табл. 2.11.

В коронках после снятия их с работы сохранилось по 70—75% (по массе) от первоначально заложенных в них алмазов. Общий вид коронок после снятия их с работы показан на рис. 2.16.

Таблица 2.11

Результаты испытаний опытных алмазных коронок с выпуском алмазов из тела матрицы

Номера коронок	Средневзвешенная категория пород по буримости	Проходка на коронку, м	Расход алмазов, карат/м	Механическая скорость бурения, м/ч
3327	10,2	8,4	1,430	0,66
3337	10,0	20,2	0,575	0,78
3330	9,0	30,6	0,398	0,83
3344	8,5	43,7	0,260	1,05
3343	7,6	59,0	0,195	1,08
Средние данные	8,7	32,5	0,275	0,95
Данные по 50 серийным коронкам 01АЗ и 01А4-59	9,0	18,5	0,587	0,55



Рис. 2.16. Алмазные однослойные коронки с заданным выпуском алмазов из матрицы после бурения.
 а (№ 3337) — 20,2 м по слаботрещиноватым породам X категории; б (№ 3343) — 59,0 м по трещиноватым породам VII—VIII категории.

По приведенным в табл. 2.11 данным хорошо видно, как снижаются все показатели работы коронок с увеличением твердости породы. В то же время при бурении в породах VII—VIII категории работоспособность коронок, несмотря на значительную трещиноватость пород, весьма высокая.

Следовательно, коронки с выступающими алмазами можно применять для бурения трещиноватых пород VI—VII, реже VIII категории по буримости. В породах более твердых эти коронки будут обеспечивать высокую скорость бурения, но стойкость их при этом весьма низкая.

Твердость матрицы коронки. Она должна в определенной мере соответствовать твердости буримой породы. Для каждого комплекса пород важно подобрать соответствующую матрицу. В то же время на работоспособность коронок при бурении как в плотных, так и в трещиноватых породах влияние твердости матрицы в общем незначительно. В целом несколько лучше работают коронки с нормальной матрицей твердостью 20—25 HRC (табл. 2.12).

Главное влияние на работоспособность алмазных коронок в трещиноватых породах оказывает на твердость, а прочность матрицы. Считается, что прочность матрицы коронки в значительной степени зависит от ее твердости. Основываясь на этом, большинство специалистов рекомендует применять для бурения трещиноватых пород коронки с самыми твердыми матрицами. Однако опыт применения коронок типа 03И5 с очень твердыми матрицами (до 50—55 HRC) не подтвердил этих рекомендаций. При бурении твердых трещиноватых пород матрицы таких коронок трескаются, ломаются и выкрашиваются. Прочность их оказывается недоста-

Таблица 2.12

Работоспособность алмазных коронок с различной твердостью матрицы

Твердость матрицы коронки, НРС	Количество отработанных коронок, шт.	Средневзвешенная категория пород по буримости	Проходка на коронку, м	Расход алмазов, карат/м	Механическая скорость бурения, м/ч
25	5157	9,3—9,7	16,3	0,710	0,77
35	3735	8,6—10,1	15,3	0,780	0,73

точной. Несколько лучше в таких породах работают коронки с нормальной (более вязкой, более износостойкой) матрицей. Однако и коронки с нормальной матрицей также очень часто выходят из строя из-за механических повреждений. Поэтому для бурения твердых трещиноватых пород прочность матрицы должна быть повышена не только за счет ее твердости, но и за счет других ее конструктивных элементов, например, за счет ее толщины, укрепления вставками твердого сплава и т. п.

Форма матрицы коронки. Определенный интерес представляет и такая особенность алмазной коронки, как форма ее матрицы, оказывающая существенное влияние на распределение давления под торцом коронки. В процессе проведения исследований было замечено, что при бурении трещиноватых пород типа скарнов, альбитофиров и других аналогичных им разновидностей коронками с утолщенным торцом у последних наблюдается куполообразная форма износа матрицы. Учитывая, что приближение профиля матрицы к форме, определяемой естественным износом, будет способствовать увеличению стойкости коронки, целесообразно предусмотреть создание коронки для бурения трещиноватых пород с куполообразной или ступенчатой формой матрицы.

Толщина матрицы коронки. Влияние толщины матрицы на работоспособность алмазных коронок при бурении в трещиноватых породах впервые было замечено и использовано ВИТР в 1966—1968 гг. при разработке коронок для двойных колонковых труб [16]. Позже принцип дифференциации коронок по толщине матрицы был принят за основу и использован при разработке коронок для бурения в породах различной степени трещиноватости [17—21]. При этом основное внимание уделялось вопросу определения оптимальной толщины матрицы для бурения различных групп горных пород.

Из практики известно, что толщина матрицы алмазных коронок влияет на скорость бурения и характер износа коронок. Чем толще матрица коронки и меньше ее диаметр, тем чаще причиной выхода коронки из строя является образование кольцевой канавки на внутренней поверхности матрицы. Анализ материалов по отработке коронок показывает, что 50—80% алмазных коронок выхо-

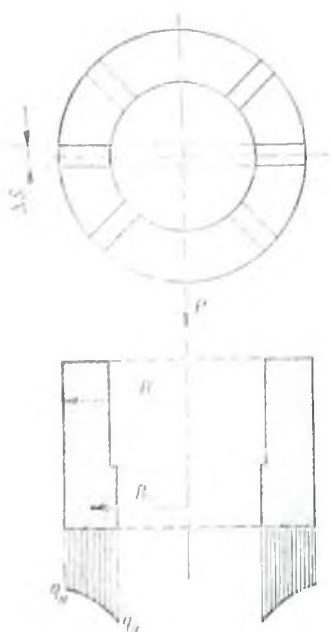


Рис. 217. Эпюра распределения контактного давления под торцом матрицы алмазной коронки.

не ближе к центру забоя ($S_n = R_1 \varphi$). Естественно поэтому предположить, что контактное давление в процессе вращения коронки отличается от начального и распределено вдоль радиуса по определенному закону. Очевидно, что контактное давление возрастает от периферии к центру. Максимальное значение контактного давления наблюдается в центре лезвия долота, а распределение интенсивности нагрузки вдоль радиуса имеет вид гиперболы. Таким образом, центральная часть долота со стороны забоя скважины испытывает весьма интенсивную реакцию. Именно эта центральная часть как бы тормозит внедрение долота. В этом отношении керновые коронки находятся в более выгодных условиях работы, чем долота.

Рассмотрим с этой точки зрения работу алмазной коронки. Положим для простоты, что коронка имеет плоский торец. Выделим на торце элемент матрицы с толщиной ΔS и длиной $2R$ и найдем значение контактного давления в точках, характеризуемых координатами $\pm R_1$ (рис. 217).

Контактное давление в точке, отстоящей от оси коронки на расстоянии R_1 , при толщине выделенного элемента матрицы $S=1$ найдем из уравнения

дит из строя вследствие образования кольцевых канавок по наружной и особенно внутренней поверхностям матрицы. Основную причину этого явления следует, видимо, искать в распределении контактного давления по торцу матрицы коронки в радиальном направлении.

Распределение контактного давления (или реакция забоя) под рабочим торцом режущего инструмента, например вдоль лезвия долота РХ, в соответствии с представлениями проф. В. С. Владиславлева, происходит по гиперболическому закону [22]. Действительно, в процессе работы связанной системы, каковой является алмазная коронка (или долото), каждый элемент режущей кромки долота (или коронки) при повороте на угол φ (угла поворота коронки вокруг своей оси) внедрится на одинаковую глубину. При этом путь, пройденный какой-либо точкой, расположенной на периферической части матрицы ($S_n = R\varphi$, где R — радиус коронки), окажется больше пути любой другой точки, находящейся, на матри-

$$q_1 = 0,5Q \frac{1}{2R_1 - 1}, \quad (2.1)$$

где Q — нагрузка на коронку.

Полученное уравнение достаточно четко характеризует степень увеличения контактного давления по мере уменьшения R_1 (т. е. по мере перемещения к внутренней кромке матрицы).

Из приведенных в табл. 2.13 данных следует, что степень повышения контактного давления на внутренней части матрицы с увеличением толщины матрицы увеличивается. Следовательно, объективно, вне зависимости от внешних условий, внутренняя часть торца коронки подвержена более интенсивному износу, чем наружная. Причем именно этот вид износа, как показывает практика, больше всего присущ коронкам, имеющим матрицу толщиной 12,5—15,0 мм. Уменьшение толщины матрицы вызывает нивелирование контактного давления под рабочим торцом коронки, что способствует более равномерному износу матрицы коронки и увеличению механической скорости бурения при работе ею на режиме резания. Поэтому в твердых и главное плотных породах, бурение которых осуществляется в основном на режиме резания, более эффективным видом породоразрушающего инструмента, несомненно, являются тонкостенные алмазные коронки.

Уменьшение толщины матрицы коронки, достигнутое за счет увеличения ее внутреннего диаметра, обеспечивает рост механической скорости бурения, а уменьшение на 15—20% массы алмазов

Таблица 2.13

Значение контактных давлений по наружной и внутренней частям матриц для коронок с разной толщиной торца (контактное давление дано в долях нагрузки на коронку Q).

Тип алмазной коронки	Диаметр коронки, мм		Толщина матрицы коронки, мм	Контактное давление на матрице коронки		$q_{в}/q_{н}$
	наруж-ный	внутрен-ний		на наруж-ной части $q_{н}$	на внут-ренней части $q_{в}$	
Тонкостенные	76	62	7,0	0,035Q	0,043Q	1,23
	59	45	7,0	0,046Q	0,062Q	1,34
Стандартные	76	59	8,5	0,035Q	0,046Q	1,31
	59	42	8,5	0,046Q	0,070Q	1,45
Толстостенные	76	54	11,0	0,035Q	0,051Q	1,46
	59	38	10,5	0,046Q	0,076Q	1,65
Для двойных труб ТДН-2	76	53	11,5	0,035Q	0,052Q	1,48
	59	39	10,0	0,046Q	0,073Q	1,58
Для двойных труб ТДН-4	76	46	15,0	0,035Q	0,060Q	1,71
	59	34	12,5	0,046Q	0,086Q	1,87

Примечание. $q_{в}/q_{н}$ — степень увеличения контактного давления на внутренней части матрицы по отношению к наружной для коронок с разной толщиной торца.

в тонкостенной коронке против коронки со стандартной толщиной торца дает возможность снизить расход алмазов на 1 м бурения.

При бурении скважин в трещиноватых разрушенных горных породах стойкость стандартных алмазных коронок типа 01АЗ, 01МЗ, 02НЗ и других, как было уже показано выше, резко снижается. Соответственно происходит также и значительное увеличение расхода алмазов на метр бурения, намного превышающее существующие нормы, действующие в системе Миннео СССР. Низкая стойкость серийных алмазных коронок в таких породах может быть объяснена специфическими условиями их работы, которые возникают при бурении трещиноватых пород. В частности, керн трещиноватых пород в процессе бурения склонен к истиранию и дроблению. А это в свою очередь приводит к попаданию кусочков керна под торец коронки, заклиниванию его в колонковой трубе, возникновению повышенных вибраций и дополнительных ударных нагрузок на коронку. В результате этих отрицательных явлений происходит более интенсивный износ корпуса и матрицы коронки, чем при бурении монолитных пород. Отсюда следует, что корпус и матрица коронки, предназначенной для бурения трещиноватых пород, а также их соединение между собой должны иметь повышенную механическую прочность и износостойкость.

Матрица же коронки толщиной 8,5 мм из-за недостаточной стойкости к ударным нагрузкам не удовлетворяет условиям бурения в трещиноватых породах. Одним из путей повышения износостойкости коронок, предназначенных для бурения трещиноватых пород, является создание алмазных коронок с утолщенной матрицей. А так как при бурении трещиноватых пород разрушение их на забое скважины происходит чаще всего за счет смятия и раздавливания, можно не опасаться возникновения чрезмерно больших контактных давлений на внутренней поверхности такой утолщенной матрицы. И хотя путь повышения механической прочности и износостойкости коронки за счет увеличения толщины ее торца не является самым лучшим (бурение коронкой с утолщенной матрицей приводит к увеличению объема разбуриваемой породы, а это в свою очередь ведет к увеличению энергозатрат на разрушение породы и в конечном счете к некоторому снижению механической скорости бурения), тем не менее он позволяет осуществлять бурение трещиноватых пород такими коронками с гораздо большей эффективностью, чем стандартными алмазными коронками.

Для определения наиболее оптимальной толщины матрицы ВНИИ была изготовлена и испытана в стендовых и производственных условиях партия алмазных коронок диаметром 59 мм с различной толщиной матрицы. Бурение на стендах велось СБА-500 с частотой вращения снаряда 699 об/мин по блокам плотного среднезернистого гранита и шокшинского кварцита X категории по буримости и специально подготовленному блоку трещиноватого среднезернистого гранита. Промывка осуществлялась технической водой в количестве 15 л/мин. Основной целью стендовых испыта-

ний являлось получение сравнительных данных о расходе алмазов и механических скоростях бурения коронками с различной толщиной матрицы при одинаковых удельных нагрузках на единицу площади торца коронки.

В соответствии с поставленной задачей была принята следующая методика испытаний. Обработка тонкостенных коронок началась при нагрузке 1000 кгс и велась до тех пор, пока механическая скорость бурения не падала ниже 0,5 м/ч, после чего импрегнированные коронки снимались с работы, а однослойные обрабатывались далее при нагрузке 1200 кгс снова до падения механической скорости ниже 0,5 м/ч. Коронки со стандартным и утолщенным торцом обрабатывались по той же методике, но начальная нагрузка для них принималась равной соответственно 1200 и 1400 кгс и затем повышалась для однослойных коронок на 200 кгс. Таким образом, все коронки обрабатывались при примерно одинаковой удельной нагрузке, составившей для однослойных 90—110 и для импрегнированных коронок 90 кгс/см².

Анализ результатов стендовых испытаний коронок с разной толщиной матрицы, приведенных в табл. 2.14, показал следующее:

— при равных удельных нагрузках тонкостенные алмазные коронки обеспечивают большую механическую скорость бурения в плотных твердых породах, чем коронки со стандартным или утолщенным торцом;

— коронки с утолщенным торцом применять для бурения плотных твердых пород нецелесообразно из-за быстрого зашлифования матрицы этих коронок и невысоких механических скоростей бурения;

— оптимальные удельные нагрузки на коронку, обеспечивающие максимальную механическую скорость бурения при достаточной стойкости коронки, находятся в пределах от 75 до 100 кгс/см². При применении удельных нагрузок на коронку свыше 100 кгс/см² механическая скорость бурения начинает уменьшаться. При удельной нагрузке на коронку 140—150 кгс/см² и выше механическая скорость бурения снова резко возрастает. Однако одновременно с этим начинается интенсивный износ матрицы коронки, приводящий к преждевременному выходу ее из строя. Обычно стойкость коронки, обрабатываемой в режиме интенсивного износа, составляет от 0,5 до 1,5 м;

— при бурении по плотным твердым породам типа гранитов и кварцитов основным видом износа коронок с утолщенным торцом является зашлифование матрицы и алмазов и появление кольцевых канавок на внутренней или центральной части торца коронки. У тонкостенных коронок при бурении по таким породам аномальных видов износа, как правило, не наблюдается. Износ матрицы тонкостенной коронки в процессе бурения происходит равномерно по мере ее обработки, заметно возрастая лишь при переходе на чрезмерно большие удельные нагрузки, свыше 140—150 кгс/см².

Таблица 2.14

Результаты стендовых испытаний коронок с различной толщиной матрицы

Тип алмазной коронки	Толщина матрицы коронки, мм	Механическая скорость бурения, м/ч	Расход алмазов, карат/м	Горная порода
АКС	7,0	1,44	0,68	Гранит среднезернистый плотный
АК-1	8,5	1,24	0,86	
АКУ-1	10,5	0,85	1,68	
АКС	7,0	1,61	1,61	Гранит среднезернистый трещиноватый
АК-1	8,5	1,40	1,54	
АКУ-1	10,5	1,29	0,91	
ИКС	7,0	2,00	0,88	Шокшинский кварцит плотный
ИМВ-3	8,5	1,59	1,09	
ИМВ-У	10,5	0,68	1,97	
АКС	7,0	1,04	1,05	То же
АК-1	8,5	0,69	1,21	
АКУ-1	10,5	0,13	1,74	

Наиболее оптимальным типом алмазных коронок при бурении в трещиноватых породах, обеспечивающим минимальный расход алмазов хотя и при несколько меньшей механической скорости, являются коронки с утолщенной матрицей.

Преимущества тонкостенных алмазных коронок и коронок с утолщенной матрицей, выявившиеся в процессе проведения стендовых исследований, в дальнейшем полностью подтвердились результатами испытаний этих коронок в производственных условиях при бурении горных пород различной степени трещиноватости

Таблица 2.15

Результаты производственных испытаний коронок с различной толщиной матрицы

Тип алмазной коронки	Толщина матрицы коронки, мм	Механическая скорость бурения, м/ч	Расход алмазов, карат/м	Группа пород по трещиноватости
АКС, ИКС	7,0	2,56	0,66	I
АК-1, ИМВ-3	8,5	1,98	1,06	
АКУ-1, ИМВ-У	10,5	0,33	1,88	
АКС, ИКС	7,0	1,67	0,98	II
АК-1, ИМВ-3	8,5	1,44	0,85	
АКУ-1, ИМВ-У	10,5	0,69	1,02	
АКС, ИКС	7,0	1,16	1,95	III
АК-1, ИМВ-3	8,5	0,62	1,70	
АКУ-1, ИМВ-У	10,5	0,80	0,66	

(табл. 2.15). Влияние толщины матрицы на работоспособность алмазных коронок при бурении в трещиноватых породах подтверждается также результатами испытаний породоразрушающего инструмента отечественного и зарубежного производства в Криворожском железорудном бассейне.

Зависимость проходки на коронку и механической скорости бурения от толщины матрицы коронки, полученная по данным сравнительных испытаний отечественного и зарубежного инструмента в Кривбассе [23], показана на рис. 2.18, а в табл. 2.16 приведены ее числовые значения. В результате проведенных исследований установлено, что при бурении в монолитных породах наиболее оптимальными являются матрицы толщиной 6,0—7,0 мм, при бурении в слаботрещиноватых породах — 8,0—9,0 мм и при бурении в трещиноватых дезинтегрированных горных породах следует применять специализированные алмазные коронки с толщиной матрицы 10,0—15,0 мм в комплекте с двойными колонковыми трубами.

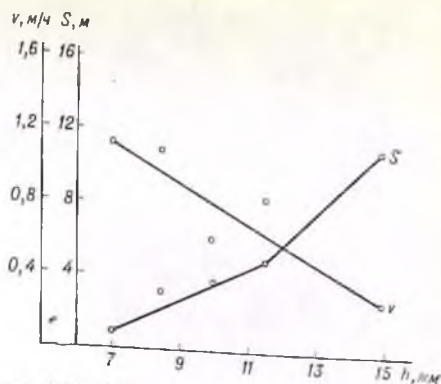


Рис. 2.18. Зависимость проходки на коронку S и механической скорости бурения v от толщины матрицы коронки h .

Таблица 2.16

Сравнительные показатели работоспособности алмазных коронок отечественного и зарубежного производства с различной толщиной матрицы при бурении в очень твердых сильнотрещиноватых породах Кривбасса

Тип алмазной коронки	Толщина матрицы, мм	Объем бурения, м	Средняя проходка на коронку, м	Механическая скорость бурения, м/ч
Лонгир	7,0	27,55	1,00	1,02
02ИЗ	8,5	47,52	3,38	1,17
Ничимен	10,1	145,96	3,82	0,63
ИИЗ	11,5	38,35	4,84	0,85
02ИЗ (для двойных труб КТД-76-4)	15,0	11,44	11,44	0,29

2.5. Влияние трещиноватости горных пород на выход керна

Одним из наиболее затруднительных моментов при бурении сильнотрещиноватых и раздробленных пород — получение конди-



Рис. 2.19. Трещины различной ширины, заполненные кварцем (образцы кернов отобраны на железнорудных месторождениях Горной Шории).

а — диорит XI категории по буримости, глубина взятия образца 784 м, ширина трещины 25–30 мм, *б* — гранодиорит X категории по буримости, глубина взятия образца 191 м, ширина трещины 5–6 мм, *в* — адамеллит-порфир XI категории по буримости, глубина взятия образца 284 м, ширина трещины 2–5 мм.

цнонного керна. Поэтому выяснение причин разрушения керна в процессе бурения трещиноватых пород является весьма важным делом, дающим возможность устранить все отрицательно влияющие на керн факторы.

Керн горной породы, получаемый в процессе разведочного бурения, служит исходным материалом для проведения геологических, гидрогеологических и инженерных исследований. Изучение трещиноватости пород по керну колонковых скважин дает возможность определять системы тектонических трещин и элементы их залегания. Так, по керну можно судить о ширине трещин. Абсолютно достоверно устанавливается ширина трещин с минеральным заполнителем, обычно жилами кальцита или кварца (рис. 2.19). По керну определяются вещественный и минеральный состав горных пород, их физико-механические свойства и т. д.

Теоретически возможно получение всего столбика керна в исследуемом интервале скважины. Однако практически в результате воздействия на керн в процессе бурения ряда различных отрицательно влияющих на него факторов выход керна всегда оказывается ниже теоретически возможного. Выход керна зависит от геологических условий бурения, технологического процесса бурения и технических средств бурения и подъема керна.

Выяснением влияния геологических условий на выход керна занимались В. С. Владиславлев, Б. И. Воздвиженский, С. А. Волков, С. С. Сулакшин и другие исследователи [9, 22, 24]. Было установлено, что трещиноватость — один из основных геологических факторов, влияющих на выход керна. Он снижается в зонах геологических разломов и тектонических нарушений, в зонах дезинтеграции, интенсивного кливажа, при наличии сильной трещиноватости пород и в карстовых областях, а также при бурении пород, перемежающихся по твердости и буримости. При этом кроме общей трещиноватости пород на выход керна влияют также отдельные крупные трещины и зоны повышенной трещиноватости. Существенное влияние на выход керна оказывают физико-механические свойства пород: твердость, хрупкость, пластичность, пористость, проницаемость, плотность и характер связи между частями породы.

Большое влияние на выход керна оказывает технологический процесс бурения. Разрушение керна в процессе бурения происходит в основном за счет механического воздействия вращающегося бурового снаряда и действия потока промывочной жидкости. Механическое разрушение керна происходит также и в колонковой трубе за счет толчков, ударов и вибраций бурового снаряда. В этом случае находящийся в колонковой трубе керн постепенно дробится, вызывая самозаклинивание и взаимное истирание кусков породы друг о друга. Раздробленный керн больше подвержен истиранию в колонковой трубе, чем плотный. При этом истирание керна обычно происходит в плоскости, перпендикулярной к его оси. Механическому разрушению керн подвергается также при его извлечении из колонковой трубы и в ряде других случаев.

Разрушение керна может происходить в результате механического размывания его струей промывочной жидкости или воздействия скоростного напора жидкости на куски керна в колонковой трубе, вследствие чего последние прижимаются друг к другу, вызывая взаимное истирание и самоподклинивание.

Для выяснения степени и характера разрушения керна во время нахождения его в колонковой трубе в процессе бурения по трещиноватым породам была проведена серия опытов. Для моделирования условий, в которых находится керн в колонковой трубе на протяжении всего рейса, был изготовлен снаряд специальной конструкции (рис. 2.20). С помощью этого снаряда было подвергнуто испытанию 18 образцов керна, полученных ранее при экспериментальном бурении по специально подготовленным блокам пород. Все образцы были разбиты на шесть групп — по три образца керна в каждой группе. Каждая из групп образцов отличалась от следующей степенью первичной дезинтеграции, наступившей в результате экспериментального бурения по блокам. Отобранные образцы керна были поставлены в условия, максимально приближающиеся к тем, в которых керн находится во время бурения, начиная с момента выхода керна из коронки и попадания в колонковую трубу. Для этого керн помещался в колонковую трубу и

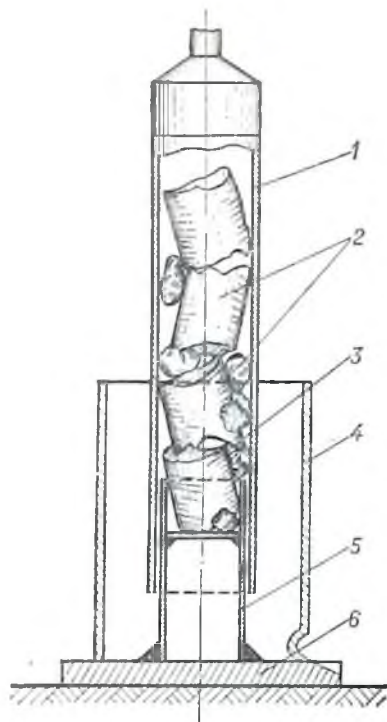


Рис. 220 Снаряд для изучения разрушения керна в колонковой трубе.

1 — колонковая труба; 2 — испытуемый керн; 3 — неподвижная часть керна («забой»); 4 — стакан; 5 — гильза; 6 — основание стэнда.

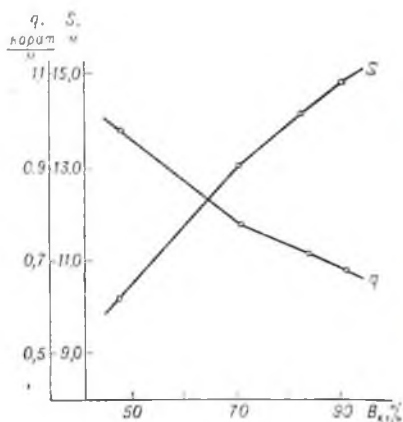


Рис. 221. Зависимость расхода алмазов q и проходки на коронку S от выхода керна B_k .

подвергался воздействию вращения и поступательного движения трубы вверх и вниз относительно неподвижной части керна и снаряда (имитация продвижения колонковой трубы), а также воздействию потока промывочной жидкости. Опыт проводился при частоте вращения снаряда 190, 280 и 377 об/мин. В качестве промывочной жидкости использовалась вода в количестве 30 л/мин. Продолжительность каждого опыта составляла 90 мин.

Результаты опытов показали, что разрушение керна, полученного при бурении, продолжается и во время его пребывания в колонковой трубе. При этом характер разрушения керна в колонковой трубе зависит от первоначального состояния образцов керна (степени их дезинтеграции) и от частоты вращения снаряда при испытаниях. Керна, имеющий большую степень первоначального разрушения, является более ослабленным и при дальнейшем воздействии на него механических и гидравлических усилий разрушается более интенсивно. Доля разрушения и потери кенового материала в колонковой трубе составили 7—27%. Линейный выход керна был не менее 73% от начальной длины испытуемого образца. Следовательно, можно предположить, что основные потери керна происходят во время образования керна — обуривания его коронкой. Именно по этой причине за счет вторичного разбуривания коронкой попадающих под ее торец кусочков керна резко воз-

растает при бурении трещиноватых пород и удельный расход алмазов. Для проверки этого положения было проведено специальное исследование.

На ряде месторождений страны, характеризующихся наличием трещиноватых горных пород, были собраны статистические данные по отработке 5,5 тысячи алмазных коронок. Причем для обобщения принимались показатели работы только тех коронок, которые были отработаны в идентичных геолого-технических условиях. Коронки, работавшие по нескольким горным породам, в расчет не принимались. Результаты отработки алмазных коронок были по выходу керна разбиты на три группы: до 60%, 61—80%, 81—100%. Данные о работоспособности алмазных коронок, приведенные в табл. 2.17 и 2.18, показывают, что практически во всех

Таблица 2.17

Сводные показатели работоспособности алмазных коронок в зависимости от выхода керна (по данным бурения скважин на 37 месторождениях страны)

Степень трещиноватости пород	Объем бурения		Выход керна, %		Проходка на коронку, м	Расход алмазов, карат/м	Механическая скорость бурения, м/ч
	м	%	предела изменения	средний			
Монолитные и слаботрещиноватые	36360	73	100—81	91	14,5	0,69	0,53
Трещиноватые	9399	19	80—61	72	12,8	0,78	0,55
Сильно и весьма сильнотрещиноватые	3925	8	до 60	48	10,3	0,97	0,57

горных породах с уменьшением выхода керна уменьшается также и стойкость коронок, а расход алмазов возрастает. Общая зависимость расхода алмазов и проходки на коронку от выхода керна показана на рис. 2.21.

Обобщение и анализ статистических данных о работоспособности алмазных коронок позволили выявить ряд закономерностей, существующих между выходом керна и расходом алмазов, проходкой на коронку, механической скоростью бурения. Снижение стойкости алмазных коронок и увеличение расхода алмазов, происходящие одновременно с уменьшением выхода керна, свидетельствуют о том, что при бурении в трещиноватых породах часть керна иногда уже из колонковой трубы вновь попадает под торец коронки и разбуривается ею вторично, вызывая дополнительный износ коронки. Предотвратить этот износ можно, применив эффективные технические средства отбора керна, уменьшающие дополнительное истирание и потери керна в процессе бурения. Рост механической скорости бурения с уменьшением выхода керна и увеличением степени трещиноватости пород подтверждает тот факт,

Показатели работоспособности алмазных коронок в различных горных породах в зависимости от выхода керна

Горные породы	Выход керна, %		Объем бурения, м	Средняя проходка на коронку, м	Механическая скорость бурения, м/ч	Производственно-геологическое объединение
	пределы изменения	средний				
Диориты	До 60	47	574	10,4	0,49	«Запсибгеология», «Уралгеология»
	61—80	72	1592	14,0	0,49	
	81—100	92	7009	16,0	0,45	
Гранодиориты	До 60	47	556	11,1	0,56	«Запсибгеология», УГ СМ ТаджССР
	61—80	72	842	11,6	0,52	
	81—100	93	3185	13,0	0,50	
Граниты	До 60	52	94	10,4	0,57	«Севкавказгеология», «Уралгеология»
	61—80	70	290	11,5	0,56	
	81—100	96	3050	15,0	0,49	
Порфириды	До 60	48	1130	10,6	0,54	«Дальгеология», «Урал- геология», «Запсиб- геология», «Красно- ярскгеология»
	61—80	73	2814	12,2	0,54	
	81—100	91	7640	13,7	0,51	
Альбитофиры	До 60	57	240	10,0	0,50	«Уралгеология» «Красно- ярскгеология», «Запсибгеология»
	61—80	70	320	11,5	0,40	
	81—100	88	926	12,5	0,36	
Порфиры	До 60	32	105	8,7	0,61	«Востказгеология», «Уралгеология»
	61—80	71	635	12,7	0,58	
	81—100	99	915	16,2	0,54	
Гнейсы	До 60	49	157	15,7	0,96	«Иркутскгеология», «Севзапгеология»
	61—80	72	316	17,5	1,09	
	81—100	92	3260	18,7	1,10	
Роговики	До 60	50	54	6,7	0,57	«Южуралгеология», «Запсибгеология»
	61—80	69	220	16,9	0,45	
	81—100	96	2058	14,9	0,38	
Кварциты	До 60	53	16	4,9	0,44	«Востказгеология», «Запсибгеология», «Севзапгеология»
	61—80	75	49	6,6	0,35	
	81—100	94	264	8,0	0,32	
Скарны	До 60	49	72	12,0	0,64	«Запсибгеология»
	61—80	73	286	13,9	0,51	
	81—100	93	833	14,1	0,45	
Амфиболиты	До 60	50	52	8,8	0,92	«Красноярскгеология», «Читагеология»
	61—80	69	121	10,0	0,80	
	81—100	94	156	9,8	0,55	
Алевриты	До 60	29	170	9,0	0,66	«Дальгеология»
	61—80	72	341	17,6	0,64	
	81—100	88	550	16,6	0,59	
Песчаники	До 60	46	636	8,9	0,66	«Дальгеология», «Урал- геология», «Донбасс- геология»
	61—80	71	1493	12,6	0,67	
	81—100	81	6406	14,1	0,66	

Горные породы	Выход керна, %		Объем бурения, м	Средняя проходка на коронку, м	Механическая скорость бурения, м/ч	Производственно-геологическое объединение
	пределы изменения	средний				
Сyenиты	До 60	40	69	8,5	0,71	«Запсибгеология», «Красноярскгеология»
	61—80	71	80	8,9	0,67	
	81—100	91	108	15,3	0,34	

что выход керна может служить дополнительным критерием оценки степени трещиноватости горной породы.

Большое влияние на выход керна и его состояние оказывают применяемые режимы бурения. Для выяснения степени влияния применяемых режимных параметров на выход керна и для установления причин разрушения керна при бурении на буровом стенде в лаборатории технологии алмазного бурения ВИТР была проведена серия опытов. С целью возможно более точного воспроизведения условий образования и разрушения керна трещиноватых пород бурение осуществлялось по заранее подготовленным блокам серого гранита (рис. 2.2) коронками 01АЗ-46 с частотой вращения снаряда 377 об/мин. Более подробно условия опыта установлены в разделе 2.2. В результате этих исследований было установлено, что при повышении нагрузки на коронку с 800 до 1600 кгс выход керна изменяется незначительно, но зато раздробленность керна резко возрастает (табл. 2.19).

На основании полученных экспериментальных данных можно предположить, что увеличение осевых усилий при бурении трещиноватых пород приводит к резкому возрастанию напряжений

Таблица 2.19

Результаты экспериментальных исследований степени влияния применяемых режимных параметров на выход керна и его состояние

Степень трещиноватости пород	Осевая нагрузка на коронку, кгс	Механическая скорость бурения, м/ч	Расход алмазов, карат/м	Выход керна, %	Степень дезинтеграция керна, %		
					$l_k > d_k$	$l_k < d_k$	$l_k < \frac{d_k}{2}$
Монолитные	800	0,59	0,32	98	95	5	—
	1200	0,64	0,81	96	90	5	5
	1600	0,91	1,44	92	80	15	5
Трещиноватые	800	1,00	1,02	84	70	15	15
	1200	0,98	1,53	71	50	30	20
	1600	1,95	3,14	66	20	40	40

l_k — средняя длина кусков (плашек) керна, d_k — диаметр керна. Объем бурения 50 м.

в приповерхностной забойной зоне, и в том числе на поверхности керна, в месте его перехода в массив породы. Это в свою очередь служит поводом для возникновения в породе трещин, расходящихся в стороны от площади непосредственного приложения нагрузки. В результате растрескивания керна ослабляется в поперечном сечении и часто получается в виде небольших по высоте кусков (плашек) и мелочи. При этом возрастает число поверхностей трения, часть керна превращается в шлам, степень дезинтеграции керна увеличивается. Создаются благоприятные условия для частичной потери кернового материала в процессе дальнейшего бурения, заклинивания керна, подъема снаряда и других операций. Одновременно с осевой нагрузкой на коронку исследовалось также влияние на выход керна и его состояние другого режимного параметра — частоты вращения бурового снаряда. Исследования этого параметра проводились в ВИТР на специально созданном высокооборотном исследовательском стенде ВИС-3000 (рис. 2.22), обеспечивающем бурение с частотами вращения снаряда до 3000 об/мин.

Высокооборотный исследовательский стенд ВИС-3000 создан на базе электрогидравлического бура типа ЭГБЛ-1, от которого использованы рама, шпindel и гидравлическая система.

Стенд предназначен для решения широкого круга задач, связанных с исследованием забойных процессов бурения, разработкой отдельных элементов технологии бурения на высоких частотах вращения, изучением процесса кериобразования и ряда других.

*Техническая характеристика
высокооборотного исследовательского стенда*

Номинальный диаметр бурения, мм	26, 36, 46, 59
Частота вращения шпинделя, об/мин	0—3000
Привод шпинделя	Электрический плавно регулируе- мый от тиристор- ного преобразова- теля серии АТР во всем диапазоне частот вращения снаряда
Подача шпинделя	Гидравлическая
Ход шпинделя, мм	700
Максимальное усилие подачи шпинделя, кгс	1000
Номинальная мощность двигателя, кВт	16

Стенд оснащен буровым насосом типа НБ-120/40, обеспечивающим расход промывочной жидкости в пределах 0—120 л/мин (0—0,002 м³/с) с рабочим давлением до 40 кгс/см² (3,92 МПа). Тип промывочной жидкости — вода, глинистый раствор, эмульсии. Стенд оборудован контрольно-измерительной и регистрирующей аппаратурой: манометрами, вольтметрами, расходомером промывочной жидкости, самописцами типа Н-350. При необходимости для проведения отдельных конкретных экспериментов он комплектуется специальной контрольно-измерительной аппаратурой.

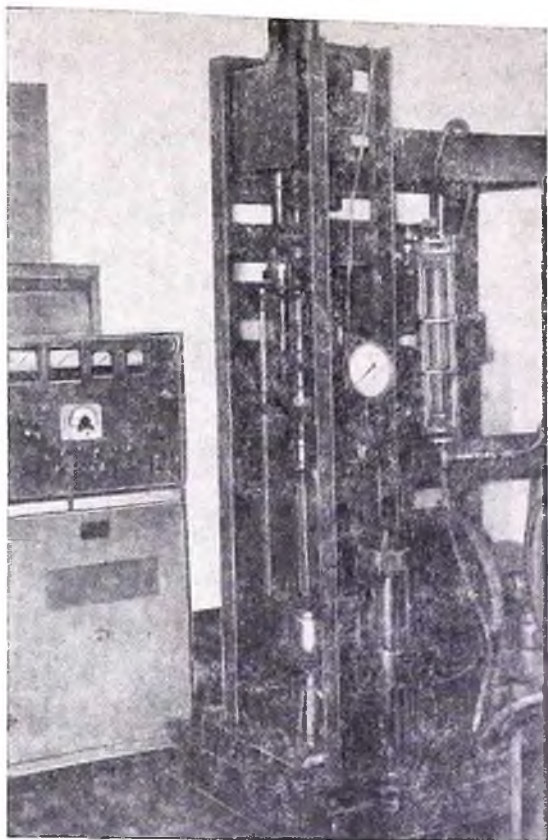


Рис. 2.22 Общий вид высокооборотного исследовательского стенда ВИС-3000.

Управление работой стенда местное, с пульта управления; способ перемещения блоков по площадке — механический, с помощью специальной тележки, с двумя степенями свободы в горизонтальном направлении.

Основными узлами стенда ВИС-3000 являются (рис. 2.23):

— рама 3, на которой закреплены средства вращения и подачи бурового инструмента, выполненные на базе электрогидравлического бура ЭГБЛ-1;

— верхняя площадка 10, на которой размещена рама с буром, электродвигатель с приводом, контрольно-измерительная аппаратура и пульт управления;

— нижняя площадка с размещенными на ней тележкой 13 для перемещения блоков горных пород, буровым насосом НБ-120/40 14 и зумпфами для промывочной жидкости.

Передача осевой нагрузки бурильному валу производится от гидравлических цилиндров подачи 4, которые закреплены на не-

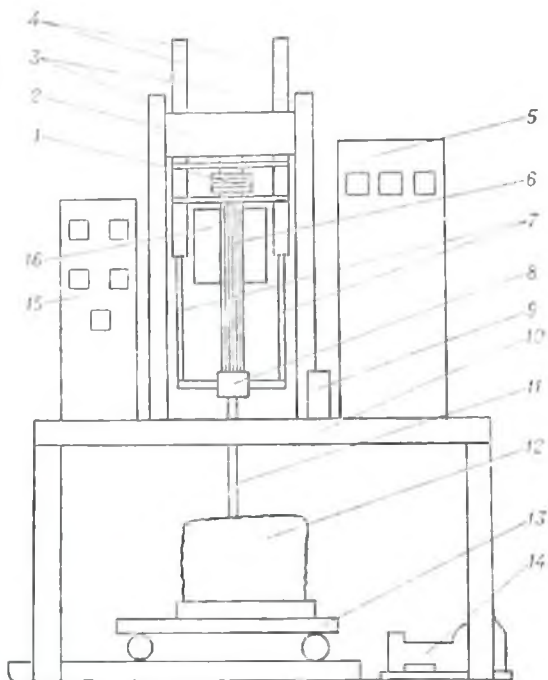


Рис. 2.23. Схема будового станда ВИС-3000.

1 — ведомый шкив; 2 — неподвижная траверса; 3 — рама; 4 — гидроцилиндры подачи; 5 — тиристорный преобразователь переменного тока в постоянный; 6 — шпindel; 7 — штоки гидроцилиндров; 8 — промывочный сальник; 9 — маслонасос; 10 — основание станда; 11 — буровой снаряд; 12 — монолит горной породы; 13 — тележка; 14 — буровой насос; 15 — приборный щиток; 16 — двигатель постоянного тока.

подвижной траверсе 2, через штоки гидроцилиндров 7, соединенные с промывочным сальником 8, который в свою очередь связан с буровым снарядом 11 и шпинделем 6. Давление в гидроцилиндрах поддерживается шестеренчатым маслонасосом 9, приводимым в действие асинхронным двигателем мощностью 3,5 кВт. Нагрузка определяется по показаниям образцового манометра. Крутящий момент от электродвигателя передается посредством клиноременной передачи ведомому шкиву 1, далее через шпindel 6 и промывочный сальник 8 буровому снаряду 11. Нижнее расположение промывочного сальника позволяет разгрузить от изгибающих моментов верхний, свободный, конец шпинделя.

Система управления станда включает в себя пусковую аппаратуру двигателей станка, бурового насоса, маслонасоса, управление подачей и частотой вращения шпинделя, контрольно-измерительные и регистрирующие приборы.

На приборной стойке 15 установлены два самописца типа Н-350 для регистрации напряжения и тока на зажимах двигателя вращателя и измерительное устройство ИУ-51 расходомера

ИР-51. Преобразователь расхода промывочной жидкости ПР-44 установлен на нагнетательной линии насоса НБ-120/40.

Тележку 13 с блоком 12 можно перемещать с помощью электродвигателя или вручную рукояткой, связанной цепной передачей с ведущим валом тележки. Образец породы закрепляют на площадке с помощью винтов. Площадку можно перемещать по направляющим в поперечном направлении с помощью винта и маховика.

Анализ результатов стендовых исследований показал, что процесс образования керна на высоких частотах вращения бурового снаряда имеет свои особенности, которые необходимо учитывать в целях получения кондиционного выхода керна при бурении на частотах вращения свыше 1500 об/мин. Установлено, что высокие частоты вращения вызывают существенно повышенный износ керна вследствие усиления вибраций бурового снаряда и появления резонансных колебаний бурильной колонны. Отмечено также существенное (в 2—8 раз) увеличение степени дробления керна.

Изменение выхода керна и его качества при увеличении частоты вращения бурового снаряда с 500 до 3000 об/мин существенным образом зависит от вида горных пород, их состава и степени дезинтеграции, диаметра бурения и типа колонкового снаряда. С уменьшением агрегатной прочности материала горной породы выход керна, как правило, уменьшается и только меры технологического и технического характера позволяют обеспечить его кондиционный выход. При бурении в твердых монолитных горных породах выход керна и его качество не зависят от частоты вращения бурового снаряда. Во всех случаях выход керна приближается к 100%, причем дробления керна в процессе бурения не происходит.

Наиболее сложными с точки зрения получения кондиционного выхода керна являются перемежающиеся по прочности горные породы. При этом на выход керна в этих породах влияет вид распределения различных по прочности фракций в горной породе, их размеры и формы. Избирательное истирание слабых фракций в горной породе становится существенным при линейных размерах прочной фракции, сопоставимых с диаметром бурения.

При бурении в трещиноватых и перемежающихся по твердости горных породах выход керна оказывается существенно меньше, чем при бурении монолитных горных пород. И здесь уже с увеличением частоты вращения бурового снаряда появляется тенденция к снижению выхода керна. Особенно резко выход керна снижается с увеличением частоты вращения снаряда в породах с большим количеством мягкого материала. Одновременно с уменьшением выхода керна происходит более интенсивное его дробление, что подтверждается также и увеличением показателя удельной кусковатости керна с 18—20 до 33—45 шт./м. Учитывая, что режимы бурения оказывают такое большое влияние на выход керна и его состояние, при установлении оптимальных сочетаний режим-

ных параметров следует в первую очередь исходить из условий наилучшей сохранности керна.

Кроме геологических и технологических факторов достаточно большое влияние на выход керна оказывает правильное применение специальных технических средств, предназначенных для получения и подъема керна [11, 21, 25, 26, 27]. Так, применение двойных колонковых труб, особенно при правильном выборе их типа и соблюдении правил эксплуатации, во многих случаях позволяет увеличить выход керна от 15—30 до 40% (табл. 2.20). Кроме двой-

Таблица 2.20

Изменение выхода керна при бурении в сильнотрещиноватых углеродисто-кремнистых сланцах X—XI категории по буримости в зависимости от типа колонковой трубы (по данным бурения скв. 321 в Краснохолмской ГРЭ)

Тип колонковой трубы	Тип алмазной коронки	Объем бурения, м	Проходка за рейс, м	Механическая скорость бурения, м/ч	Выход керна, %
Одноразная	02ИЗ-76	21,0	1,62	0,88	36
Двойная	02ИЗ (для труб КДТО)	3,2	0,80	1,02	55
Двойная	11ИЗ-76	10,2	1,14	0,80	84

ных колонковых труб при бурении трещиноватых пород могут применяться и другие технические средства, в частности основанные на принципе создания восходящего потока промывочной жидкости в керноприемной трубе (или, иными словами, использования обратной промывки). Обратный погон промывочной жидкости стремится удерживать керн во взвешенном состоянии, как бы центрирует его и предохраняет от истирания, самозаклинивания и разрушения в колонковой трубе.

Определенное влияние на износ керна оказывают форма и толщина матрицы алмазной коронки, а также время чистого бурения [27]. Коронки с плоским и полузакругленным торцом матрицы разрушают керн существенно интенсивнее, чем со ступенчатым (рис. 2.24). При бурении коронками со ступенчатой формой матрицы при аналогичных режимах бурения затраты мощности на забое скважины на 20—30% ниже, чем при бурении коронками с круглой формой торца. Увеличение толщины матрицы алмазной коронки типа АКС-46 (6,0 мм), АКМ-46 (7,5 мм) и АКУ-46 (10,0 мм) приводит к существенному снижению линейного выхода керна во всем диапазоне частот вращения снаряда. При этом существенного износа керна по диаметру не наблюдается.

Таким образом, при бурении в трещиноватых породах на выход керна оказывает влияние группа факторов. Изучение и учет этих факторов позволяет в каждом конкретном случае добиваться

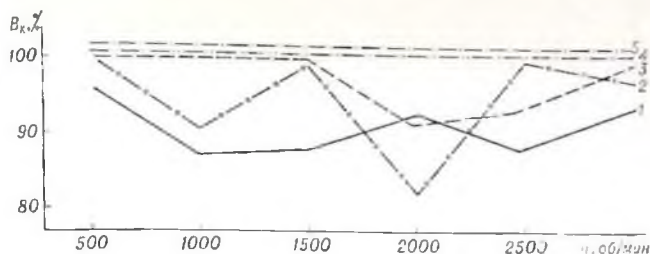


Рис. 2.24. Зависимость линейного выхода керна V_k от частоты вращения бурового снаряда n для коронок диаметром 59 мм с различной формой торца (1 — полузакругленный, 2 — плоский, 3 — зубчатый, 4 и 5 — ступенчатый).

получения максимального выхода керна при одновременном снижении удельного расхода алмазов и увеличении стойкости алмазной коронки.

2.6. Влияние основных режимных параметров на процесс алмазного бурения в трещиноватых породах

Огромное влияние на процесс алмазного бурения в трещиноватых породах оказывает установление оптимальных сочетаний основных режимных параметров. При проведении комплекса экспериментальных исследований было установлено, что при бурении трещиноватых пород износ коронок увеличивается с увеличением как осевых нагрузок на инструмент, так и частоты вращения снаряда. С изменением этих режимных параметров меняются также и другие показатели бурения: механическая скорость бурения, выход и качество керна и др. Следовательно, с увеличением степени трещиноватости пород эти режимные параметры также должны меняться. Исследования влияния основных режимных параметров на показатели алмазного бурения были проведены на одном из месторождений Средней Азии, представленном сильнотрещиноватыми породами типа углеродисто-кремнистых, кварцитовидных и филлитовидных сланцев VIII—XI категорий по буримости. Бурение осуществлялось импрегнированными коронками диаметром 59 мм. Результаты опытного бурения при различных сочетаниях режимных параметров приведены в табл. 2.21, 2.22.

Анализ и обработка результатов опытного алмазного бурения в трещиноватых породах показали, что зависимость основных показателей бурения от частоты вращения снаряда и осевой нагрузки на инструмент выражается полиномами второй степени. С учетом рассчитанных на ЭВМ «Мир-1» аппроксимирующих коэффициентов получен ряд уравнений, которые описывают характер процесса опытного алмазного бурения в трещиноватых породах. Анализ установленных зависимостей, приведенных на рис. 2.25 и 2.26, показывает, что с увеличением частоты вращения бурового снаряда механическая скорость бурения возрастает. Однако одно-

Таблица 2.21

Зависимость основных показателей алмазного бурения от частоты вращения бурового снаряда: $v_{\text{мех}}, q, L, B_{\text{к}} = f(n)$
(по данным бурения скв. 321, 323, 350 в Краснохолмской ГРЭ)

Показатели	Углеродисто-кремнистые и кварцитовидные сланцы				Филлитовидные сланцы			
	188	254	340	480	188	254	340	480
Частота вращения снаряда n , об/мин	188	254	340	480	188	254	340	480
Объем бурения ΣS , м	48,2	111,7	43,9	38,8	37,5	142,3	158,8	96,1
Механическая скорость бурения $v_{\text{мех}}$, м/ч	0,74	0,87	0,98	1,10	0,75	1,22	1,92	2,14
Расход алмазов q , карат/м	1,96	2,22	2,40	3,84	0,52	0,75	0,76	0,83
Проходка за рейс L , м	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	2,2	3,4	3,4
Выход керна $B_{\text{к}}$, %	71	65	62	39	86	58	47	37

Таблица 2.22

Зависимость основных показателей алмазного бурения от осевой нагрузки на коронку: $v_{\text{мех}}, q, L, B_{\text{к}} = f(P)$
(по данным бурения скв. 321, 323, 350 в Краснохолмской ГРЭ)

Показатели	Углеродисто-кремнистые и кварцитовидные сланцы					
	600	800	1000	1200	1500	2000
Осевая нагрузка на коронку P , кгс	600	800	1000	1200	1500	2000
Объем бурения ΣS , м	35,0	93,3	117,1	161,4	21,1	19,6
Механическая скорость бурения $v_{\text{мех}}$, м/ч	0,68	0,82	0,93	0,99	0,90	0,88
Расход алмазов q , карат/м	2,77	2,44	1,70	0,97	1,56	2,98
Проходка за рейс L , м	1,4	1,5	1,6	1,6	1,5	1,3
Выход керна $B_{\text{к}}$, %	86	71	68	65	60	24

Продолжение табл. 2.22

Показатели	Филлитовидные сланцы					
	600	800	1000	1200	1500	2000
Осевая нагрузка на коронку P , кгс	600	800	1000	1200	1500	2000
Объем бурения ΣS , м	33,0	81,0	167,5	127,8	25,5	18,6
Механическая скорость бурения $v_{\text{мех}}$, м/ч	0,98	1,12	1,80	1,80	1,93	1,95
Расход алмазов q , карат/м	0,55	0,63	0,87	0,91	0,95	1,44
Проходка за рейс L , м	1,5	2,1	3,4	3,1	2,8	2,3
Выход керна $B_{\text{к}}$, %	83	69	47	41	35	30

временно с ее ростом наблюдается увеличение в 1,5—2,0 раза удельного расхода алмазов и резкое снижение выхода керна. Причем эта зависимость проявляется в породах с разной степенью трещиноватости, но наиболее сильно в породах с удельной кусковатостью керна 31—50 шт./м и более.

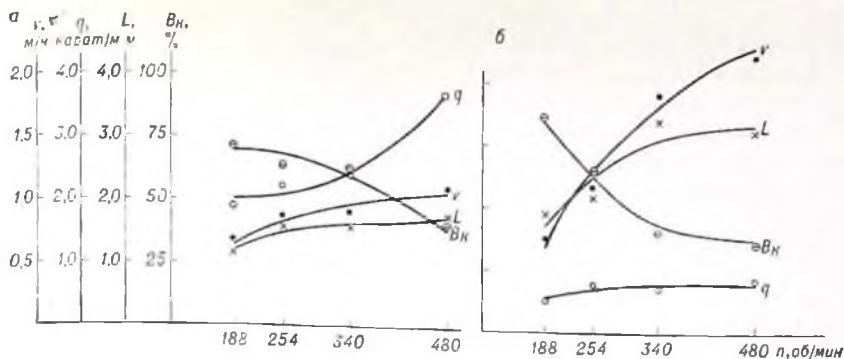


Рис. 2.25. Зависимость основных показателей алмазного бурения в трещиноватых углеродисто-кремнистых (а) и филлитовидных (б) сланцах от частоты вращения бурового снаряда.

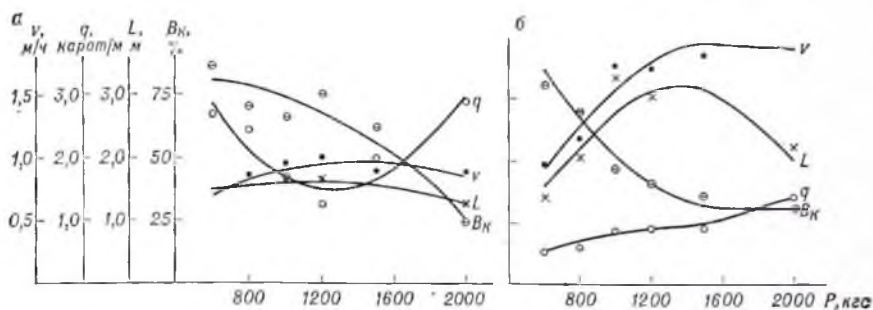


Рис. 2.26. Зависимость основных показателей алмазного бурения в трещиноватых углеродисто-кремнистых (а) и филлитовидных (б) сланцах от осевой нагрузки на коронку.

С повышением нагрузки на коронку механическая скорость бурения также увеличивается, однако темп ее роста значительно ниже, чем при увеличении частоты вращения снаряда. При нагрузке на коронку 1600—2000 кг рост механической скорости прекращается. При этом наблюдается также увеличение расхода алмазов и снижение стойкости коронки. По данным стендовых исследований увеличение нагрузки на коронку типа 01АЗ-46 с 800 до 1600 кг приводит к увеличению расхода алмазов с 1,02 до 3,14 карат/м, т. е. почти в 3 раза. Выход керна с повышением нагрузки на коронку снижается в более значительных пределах — с 80 до 30%. Причем применение высоких нагрузок на коронку оказывает существенное влияние не только на выход керна, но и на его состояние: резко повышается степень дезинтеграции керна, а это в свою очередь создает благоприятные условия для частичной потери керна в процессе дальнейшего бурения.

Поэтому нагрузку на коронку также рекомендуется снижать по мере увеличения степени трещиноватости пород.

Степень влияния, которое оказывают режимные параметры на показатели алмазного бурения в трещиноватых породах, зависит также и от такого свойства горной породы, как ее твердость. Так, при бурении в твердых и очень твердых трещиноватых углеродисто-кремнистых сланцах с увеличением частоты вращения снаряда со 188 до 576 об/мин механическая скорость бурения возрастает всего в 1,5 раза, тогда как расход алмазов увеличивается в 2 раза и более. Стоимость 1 м бурения при этом возрастает на 25—30%. Бурение на высоких частотах вращения снаряда в этом случае экономически невыгодно.

При бурении в менее твердых филлитовидных сланцах с увеличением частоты вращения снаряда механическая скорость бурения возрастает в 2,5—3,0 раза, а расход алмазов увеличивается не более чем в 1,5 раза. Стоимость 1 м бурения за счет значительного роста механических скоростей даже несколько (на 5—7%) снижается. Это позволяет допустить, что при бурении трещиноватых, но менее твердых пород можно применять более высокие частоты вращения бурового снаряда, чем при бурении пород твердых и очень твердых.

На приведенных графиках (рис. 2.25 и 2.26) четко выделяются зоны оптимальных значений режимных параметров для пород различной твердости. Так, для углеродисто-кремнистых сланцев X—XII категории по буримости наиболее оптимальные значения режимных параметров следующие: частота вращения снаряда 250—350 об/мин, нагрузка на коронку 1000—1400 кгс. Для филлитовидных сланцев VIII—X категории по буримости наиболее оптимальными являются: частота вращения снаряда 200—250 об/мин, нагрузка на коронку 600—900 кгс. Таким образом, бурение в трещиноватых породах следует осуществлять на пониженных режимных параметрах: невысоких частотах вращения снаряда и умеренных нагрузках на коронку.

Вывод о необходимости снижать нагрузку на коронку при бурении в трещиноватых породах уже был получен ранее при проведении экспериментальных исследований причины разрушения керна трещиноватых пород. Теперь этот вывод об ограничении нагрузок на коронку при бурении в трещиноватых породах, полученный экспериментальным путем, подтвержден данными производственных исследований и должен учитываться при разработке конкретных рекомендаций по оптимальным режимам бурения.

Рассмотрим причины, требующие снижения при бурении в трещиноватых породах второго режимного параметра — частоты вращения снаряда. Аналитическим путем установлено, что при бурении в таких породах работа всех алмазов в коронке носит ударный характер.

Зная показатель трещиноватости горной породы, можно рассчитать количество ударов, наносимых алмазом по стенкам трещины при их пересечении на определенном интервале скважины.

Количество ударов алмаза о стенки трещины можно определить по следующим формулам:

$$E = \frac{Ln}{v} \cdot 2W \quad (2.2)$$

или

$$E = nt \cdot 2W, \quad (2.3)$$

где E — количество ударов алмаза о стенки трещины на определенном интервале скважины L или в определенный промежуток времени t ; L — длина пробуренного интервала скважины, м; n — частота вращения снаряда, об/мин.; v — механическая скорость бурения, м/мин; W — показатель трещиноватости горной породы, определяющий среднее количество трещин, встречаемых алмазной коронкой за один полный ее оборот, на определенном интервале скважины; t — время бурения, мин.

Для усредненных условий бурения количество ударов алмаза о стенки трещины в однометровом интервале скважины может достигать 19—20 тысяч ударов. С увеличением частоты вращения снаряда количество ударов возрастает.

Снижая частоту вращения снаряда с увеличением показателя трещиноватости породы, мы тем самым ограничиваем количество ударов алмаза о трещину, не давая этому количеству ударов возрастать до бесконечности. При достаточно большом количестве ударов и высокой их энергии разрушение алмаза будет носить усталостный характер. При бурении в трещиноватых породах именно такой вид разрушения алмаза чаще всего и имеет место. Поэтому с увеличением степени трещиноватости пород для ограничения количества ударов алмаза о трещину и предотвращения преждевременного разрушения и скалывания алмазов в коронке рекомендуется снижать частоту вращения снаряда.

При разработке рекомендаций по оптимальным режимам бурения следует определять оптимальную частоту вращения снаряда, исходя из ударного характера работы алмазов в коронке с учетом динамической прочности алмазов и степени трещиноватости горных пород.

2.7. Основные принципы конструирования алмазных коронок для бурения пород различной степени трещиноватости

Изучение работоспособности и закономерностей износа алмазных коронок, определение влияния отдельных элементов коронки на ее работоспособность в целом, а также ряд экспериментальных работ, направленных на выявление причин малоэффективной работы коронок в трещиноватых породах, позволили разработать предложения по созданию новых алмазных коронок для бурения горных пород различной степени трещиноватости. Однако создать одну универсальную коронку для бурения любых трещиноватых пород практически невозможно, как невозможно ограничиться

созданием универсальной коронки для бурения плотных пород, поэтому следует говорить о разработке ряда алмазных коронок для групп пород с различной степенью трещиноватости и твердости. Это положение подтверждается и результатами работ по исследованию работоспособности алмазных коронок в различных по трещиноватости и твердости горных породах.

Основными рабочими параметрами алмазных коронок, определяющими в первую очередь их специализацию, являются твердость матрицы коронки, толщина матрицы коронки, качество заложенных в матрицу алмазов, насыщенность матрицы алмазами, зернистость алмазов, выпуск алмазов из матрицы.

Для коронок, предназначенных для бурения трещиноватых горных пород, основное значение имеют первые четыре параметра: твердость и толщина матрицы, качество используемых в ней алмазов и насыщенность матрицы алмазами. Причем первые два параметра могут быть объединены под общим понятием «прочность матрицы коронки», так как именно это свойство матрицы коронки (ее прочность) приобретает при бурении в трещиноватых породах особенно важное значение.

При бурении в трещиноватых породах главным, определяющим фактором становятся качественные показатели бурения: удельный расход алмазов и выход керна. Механическая скорость бурения в этом случае не является определяющим показателем. Поэтому основным требованием к коронке, предназначенной для бурения в трещиноватых породах, является повышенная прочность ее матрицы и алмазов. При этом прочность матрицы и качество алмазов в коронке должны повышаться по мере увеличения степени трещиноватости пород одинаковой твердости. Бурение в сильнотрещиноватых породах характеризуется механическим износом матрицы и склонностью алмазов к разрушению, скалыванию и выкрашиванию из матрицы. Следовательно, матрицу коронки, предназначенную для бурения в трещиноватых породах, необходимо армировать более прочными алмазами повышенного качества.

Такие параметры алмазных коронок, как зернистость алмазов и их выпуск из матрицы, также имеют важное значение при бурении в трещиноватых породах, однако в гораздо большей степени эти параметры коронки зависят от другого свойства породы — ее твердости.

По зернистости алмазы подразделяются на пять групп:

- самые крупные, зернистостью 2—5 и 5—10 шт./карат;
- крупные, зернистостью 10—20 и 20—30 шт./карат;
- средние, зернистостью 30—40, 40—60 и 60—90 шт./карат;
- мелкие, зернистостью 90—120, 120—150, 150—200, 200—300 и 300—400 шт./карат;
- очень мелкие, зернистостью 400—600, 600—800 шт./карат и более.

Для пород VII—VIII категории по буримости большей частью используются алмазы зернистостью от 2 до 40 шт./карат, для по-

род IX—X—алмазы зернистостью от 40 до 150 шт./карат и для пород XI—XII—алмазы зернистостью от 150 до 400 шт./карат и более.

Таким образом, основными принципами проектирования алмазных коронок для трещиноватых пород являются следующие.

1. Коронки для трещиноватых пород должны иметь более прочную матрицу. Одним из путей упрочнения матрицы коронок является увеличение ее толщины. Учитывая, что степень трещиноватости пород меняется в значительных пределах, следует предусмотреть разработку трех рядов коронок по толщине матрицы:

- тонкостенные, с толщиной матрицы 6,0—7,0 мм;
- стандартные, с толщиной матрицы 7,5—8,5 мм;
- толстостенные, с толщиной матрицы 10,5—11,0 мм.

Кроме того, для работы в наиболее сложных условиях в комплексе с двойными колонковыми трубами должны использоваться специализированные алмазные коронки с толщиной матрицы 10,0—15,0 мм.

Результаты стендовых и производственных исследований влияния толщины матрицы на работоспособность коронки в трещиноватых породах, а также изучение вопроса распределения контактных давлений по наружной и внутренней частям матрицы для коронок с разной толщиной торца и учет некоторых соображений конструктивного характера позволяют рекомендовать для разработки ряд алмазных коронок по толщине матрицы, приведенный в табл. 2.23.

Другим путем обеспечения повышенных прочностных свойств коронок является упрочнение (защита) матрицы и корпуса коронки различными механическими средствами: вставками твердого сплава, славутича, предохранительными кольцами и т. п.

2. Коронки для трещиноватых пород должны армироваться более прочными алмазами повышенного качества, в частности овализованными и полированными. Причем в первую очередь более прочными алмазами повышенного качества должны укрепляться передние части секторов коронок, а у толстостенных коронок также и внутренняя поверхность матрицы (периферические алмазы).

3. Коронки для трещиноватых пород должны иметь умеренную (стандартную) или даже уменьшенную насыщенность матрицы алмазами. Коронки с невысокой насыщенностью рекомендуется использовать в сильнотрещиноватых очень твердых породах, где стойкость коронок любых конструкций не превышает 2—3 м.

4. Выпуск алмазов из матрицы коронки по мере увеличения степени трещиноватости пород должен уменьшаться. В сильнотрещиноватых раздробленных породах выпуск алмазов из матрицы должен быть минимальным и составлять не более 10% от диаметра применяемых алмазов.

5. Определенный интерес представляет также и такой параметр алмазной коронки, как форма ее матрицы. В процессе проведения исследований замечено, что при бурении в трещиноватых

Рекомендуемый ряд алмазных коронок по толщине матрицы для бурения пород различной степени трещиноватости

Группы пород по трещиноватости	Тип алмазной коронки	Наружный диаметр коронки, мм	Внутренний диаметр коронки, мм	Толщина матрицы коронки, мм
I	Тонкостенные с уменьшенной толщиной торца для одинарных колонковых труб	46	34	6,0
		59	45	7,0
		76	62	7,0
II	Стандартные со стандартной толщиной торца для одинарных колонковых труб	46	31	7,5
		59	42	8,5
		76	59	8,5
III	Толстостенные с увеличенной толщиной торца для одинарных колонковых труб	59	38	10,5
		76	54	11,0
IV	Специализированные стандартные со стандартной или увеличенной толщиной торца для двойных колонковых труб второго типа	59	39	10,0
		76	53	11,5
V	Специализированные толстостенные с увеличенной толщиной торца для двойных колонковых труб четвертого типа	59	34	12,5
		76	46	15,0

Примечание. У большинства зарубежных коронок толщина матрицы 7,0—11,0 мм.

породах типа скарнов, альбитофиров и других аналогичных пород коронками с углошненным торцом у последних наблюдается куполообразная форма износа матрицы. Учитывая, что приближение профиля матрицы к форме, определяемой естественным износом, будет способствовать увеличению стойкости коронок и в какой-то мере предотвратит преждевременный выход их из строя, целесообразно при разработке коронок для трещиноватых пород в качестве одного из вариантов предусмотреть создание коронки с куполообразной или ступенчатой формой матрицы.

В соответствии с изложенными принципами конструирования алмазных коронок ВНИИР в последние годы разработал ряд тонкостенных и толстостенных, а также специализированных коронок для одинарных и двойных колонковых труб, позволяющих достаточно успешно осуществлять бурение скважин в трещиноватых породах.

Глава 3

**РАЗРАБОТКА КЛАССИФИКАЦИИ
ГОРНЫХ ПОРОД
ПО ТРУДНОСТИ ОТБОРА КЕРНА**

**3.1. Обоснование доминантного признака
классификации пород
по трудности отбора керна**

Проведенные ВИТР исследования процесса алмазного бурения в трещиноватых породах, а также разработанные методы и критерии оценки трещиноватости позволили разработать принципиально новую классификацию горных пород по трудности отбора керна [28, 29]. Современное состояние развития геологоразведочного бурения с учетом перспективы внедрения автоматизации и программного управления процессами бурения ставит задачу точной количественной оценки горных пород по трудности отбора керна.

К настоящему времени разработано большое количество классификаций горных пород по трудности отбора керна при бурении (С. А. Волкова, С. С. Сулакшина, И. Б. Булнаева и других). Однако все эти классификации в той или иной мере оперируют качественными характеристиками пород, что предполагает значительную долю субъективизма в определении горных пород с точки зрения трудности отбора керна. Кроме того, ни одна из существующих классификаций не учитывает в достаточной мере всего многообразия геологических условий и на современном уровне развития геологоразведочных работ не является полностью приемлемой. Характер и степень связи между частицами породы не могут быть использованы в качестве основы для построения классификации по трудности отбора керна из-за условности и отсутствия их количественной оценки, хотя учитывать эти связи, как и качественную характеристику разбуриваемых пород, необходимо. Коэффициент разрушаемости керна, положенный в основу классификации, предложенной И. Б. Булнаевым, может быть использован лишь для определенных типов пород, и, кроме того, предлагаемая методика опробована только на месторождениях Восточной Сибири.

Общим недостатком всех классификаций является трудность их практического применения в конкретных геолого-технических условиях бурения скважин. Поэтому возникла необходимость разработки принципиально новой научно обоснованной классификации, учитывающей все разрушающие керн факторы в их взаимосвязи, которую можно применять в любых условиях.

В связи с этим появилась необходимость разработать новый или выделить известный доминантный признак процесса кернооб-

разования, который должен удовлетворять следующим двум условиям: 1) иметь точную количественную оценку, исключая тем самым субъективное его определение; 2) охватывать возможно большее количество факторов, существенно влияющих на процесс формирования и дальнейшее сохранение керна в колонковом снаряде, т. е. играть роль интегрального показателя оценки его получения.

Таким интегральным, доминантным признаком может служить линейный выход керна, выраженный в процентах, что позволяет судить о степени трудности получения керна непосредственно по выходу готовой продукции, т. е. по самому керну. Это удовлетворяет обоим вышеуказанным условиям, так как линейный выход керна имеет точную количественную характеристику в процентах (0—100%) и, кроме того, в процессе бурения испытывает воздействие всех учтенных и неучтенных факторов кернаобразования, охватывая их влияние и сводя его к интегральному показателю.

Действие данного признака при геологоразведочном бурении практически всеобъемлюще, так как получение керна в качестве источника геологической информации является конечным результатом (за некоторым исключением) всех буровых работ на твердые полезные ископаемые.

Для единообразия определения данного признака в любых геологических условиях на различных месторождениях необходимо выдерживать некоторые технические условия, чтобы исключить возможность отклонений в его оценке.

Линейный выход керна должен определяться с соблюдением следующих заданных технических и технологических условий:

— бурение производится колонковым способом коронками диаметром 59 мм;

— колонковый снаряд — одинарная колонковая труба;

— параметры режима бурения должны соответствовать общему среднему состоянию геологоразведочного бурения: частота вращения бурового снаряда — 500—1000 об/мин; осевая нагрузка на инструмент — 700—1000 кгс; количество промывочной жидкости — 30—50 л/мин.

Эти условия приняты на основе анализа общего состояния бурения по Миннео СССР как наиболее типичные для большинства геологоразведочных организаций.

Выбранный доминантный признак опробован на его применимость и разброс значений с целью последующей классификации пород по трудности отбора керна. Для этого были проанализированы материалы по выходу керна при разведочном бурении в организациях Миннео СССР (геологические отчеты экспедиций и управлений, литературные источники, результаты экспериментальных работ в стендовых и производственных условиях и др.), а результаты сведены в специально разработанную опорную матрицу, названную эталонной схемой классификации горных пород по трудности отбора керна.

3.2. Эталонная схема классификации пород по трудности отбора керна

Эталонная схема разработана в качестве основы новой классификации горных пород по трудности отбора керна и базируется на структурно-текстурных, физико-механических свойствах пород и степени их трещиноватости (табл. 3.1).

Для составления эталонной схемы предварительно проведена систематизация комплексов пород и их петрографических характеристик (структуры, текстуры, вторичных процессов, степени трещиноватости) по генетическим типам месторождений твердых полезных ископаемых, после чего все породы развиты на группы применительно к проблеме выхода керна. Очевидно, ни одна из петрографических характеристик породы с точки зрения процесса образования и сохранения керна не может рассматриваться без учета ее физико-механических свойств или минеральных агрегатов. На столбик керна оказывают механическое воздействие, способствующее его разрушению, технологические параметры бурения, технические средства проведения скважин, горное и гидростатическое давление и другие факторы [30—33 и др.]. Следовательно, каждый геологический фактор необходимо рассматривать с учетом физико-механических свойств разбуриваемых пород.

При геологоразведочном бурении со структурно-текстурными особенностями пород связано образование в столбике керна отдельных кусочков-кристаллов, зерен, обломков, минеральных агрегатов в виде прослоев, линз и т. д., способных привести к разрушению керна, его самозаклиниванию и избирательному истиранию. С точки зрения образования и сохранения столбиков керна размеры зерен и вкрапленников должны быть взаимосвязаны с диаметром керна (порядка 40—50 мм). В связи с этим выделены следующие фракции обломочных пород: обломки и вкрапленники размером до 2, 2—10 и более 10 мм.

Разрушение кернового столбика с образованием более мелко-обломочных фракций может быть связано с избирательным истиранием, но явления самозаклинивания для таких условий не характерны. Количество и размеры обломочного материала, в который в той или иной степени преобразуется столбик керна, определяются соотношением размеров (мощности прослоев) и твердости различных компонентов пород, неоднородных по строению или обладающих порфиоровыми, порфировидными или обломочными структурами. Образование и сохранение столбиков керна пород с полосчатыми текстурами, крупными (до 10 мм) и весьма твердыми включениями в основной более мелкозернистой и слабой массе, а также обломочных крупнозернистых пород со слабым цементом будет дополнительно осложняться его самозаклиниванием и избирательным истиранием.

По структурно-текстурным особенностям весь комплекс горных пород в эталонной схеме разделен на пять групп:

Эталонная схема классификации горных пород

Степень трещиноватости горных пород	Удельная кусковатость керна $K_{уд}$ шт./м	Объединенный показатель динамической прочности и абразивности горных пород $F_{дл}$	Цифровой индекс подгруппы горных пород по физико-механическим свойствам и трещиноватости
Монолитные и слабо-трещиноватые	1—10 ($l_v/d_k > 2,5$)	>22,5	1
		10,0—22,5	2
		2,0—10,0	3
Среднетрещиноватые	11—30 ($l_v/d_k = 0,6 \div 2,5$)	>22,5	4
		10,0—22,5	5
		2,0—10,0	6
Сильнотрещиноватые	≥ 31 ($l_v/d_k < 0,6$)	>22,5	7
		10,0—22,5	8
		2,0—10,0	9

Примечание. Динамическая прочность: $F_{дл}$ — обломков и вкрапленников, $F_{дл2}$ —

1) несвязные, рыхлые, размываемые породы (галечники, пески и др.). Получение какого-либо керна из таких пород при заданных стандартных технических условиях бурения практически невозможно. Для этого необходимо применение специальных технических средств;

2) связные, неоднородные по твердости и строению, грубообломочные породы с обломками или вкрапленниками размером 2—10 мм. Отношение показателей динамической прочности ($F_{дл}$) обломков или вкрапленников и цемента или основной массы значительно превышает единицу. Горные породы, включенные в эту группу, неоднородны по текстуре и структуре и резко различаются по физико-механическим свойствам включений и прослоев, что приводит к интенсивному разрушению и перетиранию керна в процессе бурения. В эту группу объединены в основном полосчатые осадочные, метаморфические и пирокластические породы. Влияние их структурно-текстурных особенностей на процесс разрушения керна при разведочном бурении является доминирующим фактором;

3) связные, однородные по строению породы, перемежающиеся по твердости, с обломками или вкрапленниками размером 2—10 мм. Отношение $F_{дл}$ обломков или включений к $F_{дл}$ цемента или основной массы также значительно превышает единицу. В процес-

по трудности отбора керна ($B_n, \%$)

Горные породы по структурно-текстурным признакам

связные, рыхлые, размы- ваемые	связные, неодно- родные по твердости и строению, грубообло- мочные, с обломками 2—10 мм $F_{д1}/F_{д2} > 1$	связные, однородные по строению, перемежающиеся по твердости, с обломками 2—10 мм $F_{д3}/F_{д2} > 1$	связные, неоднородные по строению, с различной твердостью прослоев, с обломками до 10 мм $F_{д3}/F_{д4} > 1$	связные, однородные по твердости и строению и неоднородные по твердости, мелко- и тонкозернистые, с обломками до 2 мм $F_{д1}/F_{д2} > 1$
Буквенный индекс горных пород				
А	Б	В	Г	Д
0—20	65—70	70—75	80—85	90—100
	60—65	65—70	70—75	85—90
	50—55	60—65	65—70	80—85
	45—50	55—60	60—65	75—80
	40—45	45—50	55—60	70—75
	35—40	40—45	45—50	60—65
	20—25	25—30	35—40	45—55
	15—20	20—25	25—30	35—40
	0—5	5—10	10—15	15—20

цемента или основной массы, $F_{д3}$ и $F_{д4}$ — прослоев различной твердости.

се бурения происходит интенсивное избирательное дробление более мягких составных частей породы. Группа представлена преимущественно грубообломочными осадочными породами типа брекчий и конгломератов, пирокластами, метаморфическими разновидностями с порфиробластическими структурами. Влияние структурно-текстурных особенностей на выход керна при бурении данных пород весьма существенно;

4) связные, неоднородные по строению породы, с различной твердостью прослоев и обломками размером до 10 мм. Отношение показателей динамической прочности прослоев пород различной твердости больше или равно единице. В эту группу объединены породы типа полосчатых роговиков, сланцев (аспидные, глинистые сланцы), переслоенные породы различной твердости и т. д. При этом, если физико-механические свойства прослоев приблизительно одинаковы, в процессе бурения могут появиться дополнительные сколы по плоскости напластования и соответственно дополнительное перетирание и дробление керна. Плоскости напластования в таких породах характеризуются мобильностью. Структурно-текстурные особенности пород данной группы влияют на выход керна при бурении, однако в меньшей степени, чем в предыдущих группах;

5) связные, однородные по твердости и строению и неоднородные по твердости мелко-тонкозернистые породы с обломками раз-

мером менее 2 мм. Отношение F_d обломков или включений к F_d основной массы или цемента больше или равно единице. Горные породы, включенные в данную группу, в процессе бурения под торцом коронки ведут себя как мономинеральные агрегаты, и соответственно их структурно-текстурные особенности практически не влияют на процесс формирования и сохранения керна. Отношение динамической прочности главных породообразующих минералов, обломков (или включений) и цемента (или основной массы) может существенно отличаться от единицы, но не оказывать влияния на выход керна. Как исключение в эту группу входят породы с полосчатыми, трахитоидными, флюидалными, а также шаровыми и подобными текстурами, в которых отдельные их части не отличаются по прочности и границы между ними стабильны.

При разделении горных пород на группы по структурно-текстурным особенностям все текстуры объединены в два класса: однородные и неоднородные. Первые характеризуются относительно равномерным распределением минералов в породе, вторые — неравномерным, с обособлением минеральных агрегатов в виде прослов, пятен, линз и т. п. Схематическое изображение типов горных пород каждой группы показано на рис. 3.1.

Таким образом, верхние графы эталонной схемы отведены геологической характеристике пород с точки зрения их структурно-текстурных особенностей, которая в настоящее время не поддается точной количественной оценке, в связи с чем разделение на группы проведено по качественным, описательным признакам. Кроме того, введено дополнительное разделение приведенных групп по физико-механическим свойствам и трещиноватости. За оценочный критерий физико-механических свойств принят объединенный показатель ρ_m динамической прочности F_d и абразивности $K_{абр}$ пород.

При построении эталонной схемы по показателю ρ_m породы объединены в три группы:

1) $\rho_m = 2,0 \div 10,0$ (III—VI категории по буримости), мягкие породы. Эту группу составляют малопрочные, слабосвязные или сыпучие породы. При их бурении керн легко разрушается или вымывается потоком промывочной жидкости и его количество и качество определяются только техническими и технологическими условиями бурения. В эту группу входят также разновидности пород с крупными и весьма твердыми включениями, которые в еще большей степени осложняют сохранение столбика керна, вызывая явления самозаклинивания или эффект бесшаровой мельницы;

2) $\rho_m = 10,0 \div 22,5$ (VII—VIII категории по буримости), породы средней твердости. В эту группу включены породы с различным соотношением твердости и размеров компонентов, неоднородных по строению или обладающих порфиоровыми, порфировидными или обломочными структурами. В породах, перемежающихся по твердости с полосчатыми, пятнистыми, линзовидными и подобными текстурами, с крупными (> 2 мм) и весьма твердыми включениями в основной более мелкозернистой и мягкой массе, в обломочных крупнозернистых породах со слабым цементом образование и со-

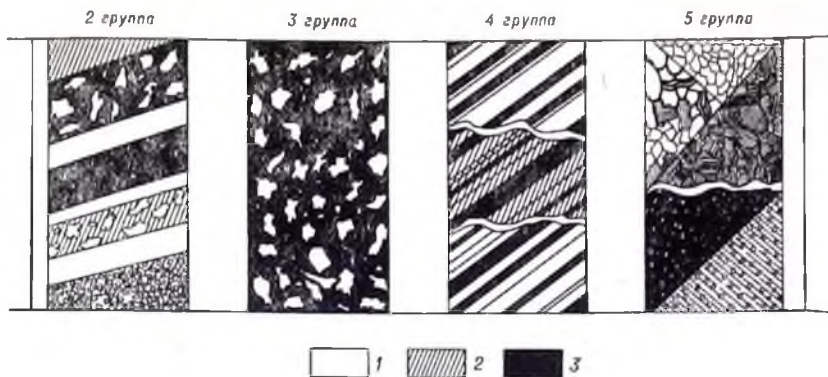


Рис. 3.1. Типы горных пород по группам.

1—3 — породы с ρ_m : 1 — $>22,5$; 2 — $10-22,5$; 3 — $<10,0$.
 (Представители пород первой группы не приводятся, так как их общий вид ясен из описания характеристик пород).

хранение столбиков керна будет осложняться его самозаклиниванием, избирательным истиранием, эффектом бесшаровой мельницы. Образование и сохранение керна одновременно зависит как от всех геологических факторов, так и от технологических условий бурения;

3) $\rho_m > 22,5$ (IX—XII категории по буримости), твердые и весьма твердые породы. В эту группу включены породы высокой динамической прочности и абразивности, в которых выход керна определяется в основном структурно-текстурными признаками и степенью трещиноватости разбуриваемых пород. Наиболее характерное их влияние на выход керна проявляется на примере пород с полосчатым строением. В породах, состоящих из прослоев, приблизительно одинаковых по твердости, но различного состава, связи на границе раздела двух поверхностей, как правило, слабее, чем внутри прослоев. Под действием различного рода динамических нагрузок, испытываемых керном при бурении, происходит смещение этих прослоев, что приводит к его самозаклиниванию.

Важнейшим определяющим геологическим фактором процесса кернаобразования является трещиноватость пород. Возможность точной количественной оценки данного фактора необходима для введения его в эталонную схему. Увеличение степени трещиноватости разбуриваемых пород создает дополнительные осложнения в процессе кернаобразования и усиливает разрушающие воздействия на керн факторов, характеризующих физико-механические свойства.

Для использования в эталонной схеме количественной оценки трещиноватости существующие пять групп горных пород по трещиноватости (см. табл. 1.2) объединены в три подгруппы (табл. 3.2) с учетом дополнительного фактора, характеристики степени нарушения керна, выраженной отношением средней

Характеристика подгрупп пород по трещиноватости

Подгруппа	$K_{уд}$, шт/м	Диаметр керна d_k , см	Средняя длина кус- ка керна l_k , см	Отношение l_k/d_k	Характеристика керна
1	1—10		20,0	$>2,5$	Слабо нарушен (длина кус- ков существенно больше их диаметра $l_k \gg d_k$)
2	11—30	2,2—7,3	5,0	0,6—2,5	Нарушен (длина кусков в большинстве случаев боль- ше диаметра $l_k > d_k$)
3	≥ 31		$<1,5$	$<0,6$	Сильно нарушен (длина кус- ков существенно меньше диаметра $l_k \ll d_k$)

длины куска керна l_k к его диаметру d_k [34]. Данное отношение указывает на возможность или обязательное существование таких явлений, как самозаклинивание керна, его избирательное перетирание, возникновение эффекта бесшаровой мельницы.

Таким образом, по степени трещиноватости каждая группа пород подразделяется на следующие классы:

1) монолитные и слаботрещиноватые с удельной кусковатостью керна $K_{уд} = 1 \div 10$ при $l_k/d_k > 2,5$. Полученный керн, как правило, не нарушен или состоит из небольшого количества цилиндрической формы кусков. Явления самозаклинивания и эффект бесшаровой мельницы отсутствуют. Избирательное истирание нехарактерно, но возможно, и в незначительной степени;

2) среднетрещиноватые, с $K_{уд} = 11 \div 30$ при $l_k/d_k = 0,6 \div 2,5$. Керн представлен кусочками, длина которых в большинстве случаев больше диаметра керна. Возможны избирательное истирание, самозаклинивание и эффект бесшаровой мельницы, причем два последних менее характерны;

3) сильнотрещиноватые, с $K_{уд} > 31$ при $l_k/d_k < 0,6$. Керн сильно нарушен, представлен кусочками, длина которых, как правило, меньше диаметра керна. Характерны избирательное перетирание, самозаклинивание и эффект бесшаровой мельницы.

Исходя из изложенного установлено, что геологические факторы, тесно связанные с технико-технологическими условиями бурения, являются основой, которая определяет все многообразие оптимальных для кондиционного выхода керна сочетаний технологических параметров и применяемых технических средств при проведении скважины.

Стабильность геологических факторов, в отличие от переменных величин, задаваемых условиями бурения, позволяет выделить их в качестве основы эталонной схемы классификации горных пород по трудности отбора керна. Это дает возможность достаточно объективно определить геологические условия бурения в каждом кон-

кретном случае. Все горные породы объединены в пять групп по структурно-текстурным признакам с указанием зернистости и соотношения твердости отдельных минералов или минеральных агрегатов в породе.

Группы пород в эталонной схеме по структурно-текстурным признакам обозначены буквами, подгруппы по физико-механическим свойствам и трещиноватости пронумерованы, что позволяет для каждой конкретной геологической обстановки выделить строго определенные поля, обозначенные буквенным и цифровым индексами (от А-1 до Д-9). Например, Г-1 мелкозернистые породы, слаботрещиноватые, весьма прочные, неоднородные по строению. Такими породами могут быть железистые кварциты и роговики, амфиболовые роговики и т. п. Для каждого такого поля даны эталонные средневзвешенные значения выхода керна, полученные путем математической обработки статистических, экспериментальных и анкетных данных бурения при стандартизованных технических условиях:

- бурение колонковым способом алмазными коронками диаметром 59 мм;
- колонковый снаряд — одинарная колонковая труба;
- параметры режима бурения: частота вращения 500—1000 об/мин, осевая нагрузка на коронку 700—1000 кгс, расход промывочной жидкости 30—50 л/мин.

Общий объем использованных данных о выходе керна в различных группах пород составил 549,9 тыс. м (в том числе экспериментальных 7,3, анкетного опроса — 50,3, статистических — 492,3). Установлено, что максимальный разброс значений линейного выхода керна в процентах при бурении конкретных пород в пределах одного поля эталонной схемы не превышает 5%.

3.3. Классификация горных пород по трудности отбора керна

На основе эталонной схемы построена классификация пород по трудности отбора керна, в которой все породы подразделены на пять групп по линейному выходу керна в процентах с градацией каждой группы через 20% (табл. 3.3). При соблюдении заданных технических условий бурения появление показателей выхода керна в пределах принятых групп хотя и имеет различную вероятность, но разброс значений невелик и все пять выделенных групп практически равнозначны.

Группа пород	I	II	III	IV	V
Выход керна, %	0—20	20—40	40—60	60—80	80—100
Вероятность, %	9,5	14,3	21,3	35,2	19,7

Классификация горных пород по трудности отбора керн

Группа пород	Выход керн, %	Поля опорной матрицы	Характеристики пород	Трудность отбора керн
I	0—20	от А-1 до А-9 Б-8, Б-9, В-9, Г-9, Д-9	Несвязные, рыхлые, размываемые Связные, неоднородные и однородные по строению, в основном поручающиеся по твердости, сильноотрицательные, как исключение средней, прочности	Пески, суглинки, галечники, соли, слабые охры, сильноотрицательные грубообломочные песчанки на глинистом цементе, сильноотрицательные аргиллиты и алевролиты, рыхлые, несвязные породы, цементированные льдом, конгломераты на слабом цементе, сильноотрицательные известняки, мергели, доломиты, раздробленные слабые каменные угли, метаморфизованные раздробленные аргиллиты, графелиты, брекчи, бокситы, сланцы кварц-серпич известковистые сильноотрицательные
II	20—40	Б-6, Б-7, В-7, В-8, Г-7, Г-8, Д-8	Связные, неоднородные и однородные по строению, однородные и неоднородные по твердости, сильноотрицательные, средней и высокой прочности, как исключение среднетрицательные, малой прочности	Среднетрицательные конгломераты, брекчи, сидерито-глинистые породы, песчанки слабые, крепкие угли сложного строения, коры выветривания никелевых, марганцевых и железорудных месторождений, скари каверзные, сильноотрицательные рудные зоны гидротермальных месторождений, грубообломочные туфы, туффыты, зоны переслаивания песчанков и аргиллитов
III	40—60	Б-3, Б-4, Б-5, В-4, В-5, В-6, Г-5, Г-6, Д-7	Связные, неоднородные и однородные по строению, однородные и неоднородные по твердости, молотные и среднетрицательные различной прочности, как исключение сильноотрицательные, высокой прочности	Среднетрицательные аргиллиты и алевролиты, плотные глины, песчанки, крепкие угли, филлиты, конгломераты, трицательные кремнистые породы, роговики, мраморы, известняки, доломиты, туффыты, сильноотрицательные кварциты, диабазовые порфириты, граниты, гранодиориты, сиециты, пегматиты, базальты, серпентиниты

Плотные песчанки, глины, мергели, известняки, доломиты, слоботрещиноватые серпантиниты, фидилиты, роговики, мигматиты, гнейсы, скарны, пироксениты, граниты, гранодиориты, порфириты, липариты, базальты и диабазы

Монолитные однородные толщи песчанков, аргиллитов, доломитов, известняков. Монолитные джеспилиты, кварциты, роговики, гнейсы, яшмы, мраморы. Неизмененные граниты, диабазы, порфириты, андезиты, граносениты, дациты, базальты, перидотиты, липариты, фельзиты

Связные, неоднородные и однородные по строению, в основном однородные по твердости, монолитные различной прочности, как исключение среднетрещиноватые, высокой прочности

Связные, в основном однородные по строению, однородные по твердости, монолитные различной прочности

Б-1, Б-2, В-1, В-2, В-3, Г-2, Г-3, Г-4, Д-4, Д-5, Д-6

Г-1, Д-1, Д-2, Д-3

60—80

80—100

IV

V

Разработанная классификация и эталонная схема горных пород позволяют: — объективно, по количественным характеристикам, оценить горные породы по трудности отбора керна при геологоразведочном бурении;

— обоснованно и дифференцированно выбрать комплекс технических средств и технологию бурения для получения кондиционного выхода керна в конкретных горно-геологических условиях;

— при составлении технических нарядов на бурение в экспедициях и партиях повысить эффективность и качество геологоразведочных работ.

Пример работы с классификацией горных пород по трудности отбора керна. Заданные условия.

Образец породы — песчаник крупнозернистый на глинистом цементе с размером обломков > 2 мм.

Схема определения.

1. По лабораторным исследованиям определяем:

— $\rho_m = 19,5$;

— коэффициент трещиноватости ($K_{уд} > 31$) по количеству трещин в образце в пересчете на 1 м;

— соотношение динамических прочностей обломков и цемента $\gg 1$.

2. Данные лабораторных исследований и заданные условия позволяют отнести породу по общей геологической характеристике в графу В эталонной схемы (табл. 3.1), а по физико-механическим характеристикам в строку 8 эталонной схемы. Ожидаемый выход керна в данных геологических условиях (поле В-8 эталонной схемы) при бурении коронками диаметром 59 мм с одинарными колонковыми трубами на заданных режимах составляет 20—25%.

3. По выходу керна порода попадает в группу II классификации пород по трудности отбора керна (см. табл. 3.3).

Вывод. Для получения кондиционного выхода керна необходимо применение специальных технологических методов и технических средств.

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН В ТРЕЩИНОВАТЫХ ПОРОДАХ

4.1. Алмазный породоразрушающий инструмент

Алмазный инструмент для геологоразведочного бурения включает в себя алмазные коронки, расширители и долоты.

Конструкции алмазных коронок предусматривают их применение с различными типами колонковых наборов: одинарными и двойными колонковыми трубами, снарядами ССК и КССК, другими специальными техническими средствами. В соответствии с принципами конструирования алмазных коронок, изложенными выше в разделе 2.7, ВИТР разработан широкий комплекс алмазных коронок для различных колонковых снарядов, позволяющих достаточно успешно осуществлять бурение скважин в горных породах любой степени трещиноватости.

При этом для монолитных горных пород разработан ряд тонкостенных алмазных коронок, для слаботрещиноватых и трещиноватых пород — ряд коронок со стандартной толщиной матрицы, для сильнотрещиноватых разрушенных горных пород — толстостенные алмазные коронки. Кроме того, для работы в наиболее сложных горно-геологических условиях в комплексе с двойными колонковыми снарядами предусмотрено использование специальных алмазных коронок с толщиной матрицы до 15,0 мм.

Для армирования коронок используются алмазы дробленые (группа XXXVa), овализованные (группа XXXIV), полированные механическим (группа XXXVIb) или химическим (группа XXXVIг) способами, а также синтетические марки APC-3 по ГОСТ 9206—80 Е (в коронках ЦБАЗСВ). Более подробно характеристика алмазного сырья, применяемого в породоразрушающем инструменте, приведена в «Инструктивных указаниях по алмазному бурению геологоразведочных скважин на твердые полезные ископаемые» [35].

Техническая характеристика выпускаемых промышленностью алмазных коронок, предназначенных для бурения горных пород различной степени трещиноватости и твердости, приведена в табл. 4.2, а в табл. 4.1 — краткая характеристика алмазных расширителей.

Во всех типах расширителей используются овализованные алмазы XXXIV группы. Расширитель РЦК (для КССК-76) разработан ЦНИГРИ, остальные — ВИТР и КБЗАН. Серийный выпуск расширителей организован на КБЗАН по ТУ 2-037-79—80.

Техническая характеристика алмазных расширителей

Тип расширителя	Диаметр расширителя, мм	Масса алмазов, карат	Тип колонкового набора
РСА-46	46	5,1—7,6	ОКН
РСА-59	59	7,6—11,4	
РСА-76	76	11,1—15,2	
РСА-93	93	12,7—19,0	
РДТН	76	5,1—7,6	ТДН-2
РДТО	59	7,6—11,4	ТДН-2/О
РДТО	76	10,1—15,2	
РДТО	93	12,7—19,0	
РУТ	46	5,1—7,6	ТДН-УТ
РУТ	59	7,6—11,4	
РУТ	76	10,1—15,2	
Р-03	46	5,1—7,6	ССК-46
РСА-1	59	7,6—11,4	ССК-59
Р-02	76	10,1—15,2	ССК-76
РЦК	76	10,1—15,2	КССК

Для каждого колонкового набора расширители имеют свои конструктивные особенности. Для одиночных колонковых труб (ОКН) предназначены алмазные расширители типа РСА, имеющие внутреннюю резьбу для соединения с короной и наружную — с колонковой трубой (по ГОСТ 6238—77*). Внутри корпуса выполнена конусная расточка для кернопрятельного кольца. По наружному диаметру за алмазосодержащими секторами выполнены сверления под ключ. Каждый алмазосодержащий сектор имеет конусный заход под углом 8°.

Для бурения с двойными колонковыми наборами предназначены расширители РДТН, РДТО, РУТ, а для бурения со снарядами со съёмными керноприёмниками РСА-1, Р-02, Р-03, РЦК. Они различаются внутренней расточкой, длиной и присоединительной резьбой.

Техническая характеристика алмазных коронок для снарядов со съёмными керноприёмниками в данной работе не приводится, так как их применение в сильнотрещиноватых, раздробленных горных породах в настоящее время является экономически нецелесообразным.

4.2. Технические средства для отбора керна

Получение представительного керна как основного фактического материала для изучения строения и условий залегания месторождений полезных ископаемых, определения их вещественного состава и физико-механических свойств — одна из важнейших задач геологоразведочного бурения.

Техническая характеристика алмазных коронок, предназначенных для бурения горных пород различной степени трещиноватости и твердости

Тип коронки	Номинальный диаметр, мм		Зернистость алмазов, шт/карат		Масса алмазов, карат	Конструктивные особенности
	наружный	внутренний	объемных	позрезных		
Коронки с уменьшенной толщиной матрицы (тонкостенные) для одинарных колонковых труб						
Однослойные						
АКС, КАТ	46	34	90—20	50—20	4,0—5,0	Толщина матрицы уменьшена до 6,0—7,0 мм. У коронок КАТ — высокая адгезионная способность матрицы
	59	45	90—20	50—20	5,0—7,7	
Импregnированные						
ИКС, КИТ	46	34	400—120	40—30	6,1—6,6	Толщина матрицы уменьшена до 6,0—7,0 мм. У коронок КИТ — высокая адгезионная способность матрицы
	59	45	400—120	40—30	9,6—9,8	
Коронки со стандартной толщиной матрицы для одинарных колонковых труб						
Однослойные						
01АЗД (20, 30, 40) К(10, 20, 30, 40)	36	22	30—20	20—10	3,6—6,6	Без выступающих по торцу алмазов с ребристой боковой поверхностью матрицы и твердостью матрицы 20—25 НRC
	46	31	30—20	30—20	4,5—6,3	
	59	42	50—30	30—20	4,6—6,1	
	76	58	50—30	50—30	5,1—7,1	
	93	73	60—40	50—30	5,4—8,1	
	112	92	60—40	60—40	6,5—11,3	
01А4Д(20, 30, 40, 60) К(10, 20, 30, 40)	36	22	30—20	20—10	3,6—5,5	Без выступающих по торцу алмазов с ребристой боковой поверхностью матрицы и твердостью матрицы 30—35 НRC
	46	31	30—20	30—20	4,5—6,3	
	59	42	50—30	50—30	5,1—7,1	
	76	58	60—40	50—30	5,4—8,1	
	93	73	60—40	60—40	6,5—11,3	
04АЗД10 К10	59	42	20—12	20—12	10,4—20,8	С выступающими по торцу алмазами и ребристой боковой поверхностью матрицы твердостью 20—30 НRC
	76	58	20—12	20—12	12,0—24,0	
	93	73	20—12	20—12	16,4—32,8	
07АЗД(20, 30, 40) К(20, 30)	59	42	30—20	30—20	6,7—9,6	С каплеобразными выступами, подпирающими алмазы по торцу, и ребристой боковой поверхностью матрицы твердостью 20—25 НRC
	76	58	40—30 или 60—40	30—20 или 40—30	8,6—14,8	
А4ДП	46	31	90—60 или 60—40	40—30	6,0—10,0	С выступающими по торцу алмазами, ребристой боковой поверхностью и высокой адгезионной способностью матрицы твердостью 20—30 НRC
	59	42	40—30	40—30	7,5—20,0	
	76	58	30—20	30—20	10,0—20,0	
	93	73	20—12	20—12	20,0—24,0	
16АЗСВ	59	41	12—8	20—12	12,0—17,0	Зубчатая конфигурация матрицы твердостью 20—25 НRC
	76	57	(или 20—12) и 400—150 (в вершине зуба)	20—12 (по конфигуру зуба)	15,0—18,0	
	93	72	20—12)		19,0—24,0	
Импregnированные						
02ИЗ(02ИЗГ)	36	22	400—120	40—30	6,0—7,0	Ребристая боковая поверхность матрицы твердостью 20—25 НRC
	46	31	400—120	60—40	7,8—8,8	
	59	42	400—120	90—60	11,6—12,9	
	76	58	400—120	90—60	15,9—17,5	
	93	73	400—120	90—60	26,0—28,2	

Тип коронки	Номинальный диаметр, мм		Зернистость алмазов, шт/карат		Масса алмазов, карат	Конструктивные особенности
	наружный	внутренний	объемных	подрезных		
02Н4(02Н4Г)	36	22	400—120	40—30	5,6—7,0	Ребристая боковая поверхность матрицы твердостью 30—35 HRC
	46	31	400—120	60—40	7,2—8,8	
	59	42	400—120	90—60	11,1—12,2	
	76	58	400—120	90—60	15,1—17,5	
	93	73	400—120	90—60	26,1—28,1	
И4ДП	59	42	400—200	30—20	8,6—17,3	Высокая насыщенность алмазами и адгезионная способность матрицы. Защитные твердосплавные вставки на подрезных поверхностях
	76	58	400—200	50—30	16,2—29,4	

Коронки с увеличенной толщиной матрицы (толстостенные) для одинарных колонковых труб

Однослойные

14АЗД(10, 20, 30, 40) К(10, 20, 30)	59	38	20—10	20—10	6,0—9,3	Толщина матрицы увеличена до 10,5—12 мм
	76	54	30—20	30—20	8,9—12,4	
	93	69	40—30 или 60—40	30—20 или 50—30	9,6—19,6	

Коронки для двойных колонковых труб типа УТ

Однослойные

КУТ	46	31	30—20	30—20	3,5—8,2	Удлиненный корпус, внутренняя соединительная резьба. У коронок КУТВ — выступающие по торцу алмазы, у коронки 18АЗ — ребристая боковая поверхность матрицы
	59	42	40—30	30—20	5,4—12,6	
	76	58	60—40	40—30	7,0—15,9	
КУТВ	59	42	30—20	30—20	6,7—14,8	
	76	58	40—30	30—20	8,6—18,9	
18АЗ	46	31	30—20	30—20	3,5—5,0	
	59	42	40—30	30—20	4,3—6,8	
	76	58	60—40	40—30	5,4—8,2	

Импregnированные

КУТИ, 19ИЗГ	46	31	400—120	40—30	6,9—7,7	Удлиненный корпус, внутренняя соединительная резьба. У коронок 19ИЗГ — ребристая боковая поверхность матрицы
	59	42	400—120	60—40	10,7—12,0	
	76	58	400—120	60—40	17,0—20,0	

Коронки для двойных колонковых труб типа ТДН-2

Однослойные

10АЗД(20, 40, 60) К(20, 30)	46	28	30—20	30—20	8,0—9,0	Удлиненный корпус, внутренняя соединительная резьба и увеличенная до 9,0—12,0 мм толщина матрицы
	59	38	60—40	40—30	8,1—12,2	
	76	52	90—60	40—30	11,2—16,8	

Импregnированные

11ИЗД	46	28	400—120	40—30	9,0—10,5	То же
	59	38	400—120	40—30	12,2—12,9	
	76	52	400—120	40—30	18,3—19,4	

Коронки для двойных колонковых труб типа ТДН-0

Однослойные

КДТО-20	59	34,5	30—20	30—20	7,8—13,0	Увеличенная до 12,0—15,0 мм толщина матрицы
	76	46	30—20	30—20	13,3—19,9	
	93	66	30—20	30—20	17,7—26,6	

Импregnированные

КДТО-150	59	34,5	400—150	50—30	12,1—13,5	То же
----------	----	------	---------	-------	-----------	-------

Коронки для эжекторных снарядов

Однослойные

ДЭА	76	47	30—20	30—20	20,0	Увеличенная толщина матрицы
	93	59	30—20	30—20	22,0	

Импregnированные

ОЭИ	59	39	400—150	50—30	12,0	То же
	76	56	400—150	50—30	20,0	
ДЭИ	76	47	400—150	50—30	20,0	

Классификация технических средств отбора керна

Характеристика промывки	Средства отбора керна	Разработка средств отбора керна и стадия разработки	Характеристика
			Тип коронки, ее характеристика
Прямая			
Нагнетание жидкости в скважине через буровой снаряд и одинарную колонковую трубу	Одинарные колонковые трубы всех диаметров	Серийные	Серийные алмазные и твердосплавные
Комбинированная			
Прямая на участке от нижнего конца керноприемной трубы до забоя скважины	Двойные трубы типа ТДВ-76-1, ТВД-59-1	ВИТР, выпускаются серийно	Серийные алмазные
	Двойные трубы типа ТДН-76-1, ТДН-59-1	То же	То же
В керноприемной трубе нет движения промывочной жидкости	Двойные трубы типа ТДН-76-2, ТДН-59-2	„	Специальные алмазные типа 10АЗ, 11ИЗ с утолщенной матрицей до 10—12 мм
	Снаряды со съёмными керноприемниками типа КССК-76, ССК-59, ССК-46	ВИТР, СКБ МГ СССР, серийные	Специальные алмазные и твердосплавные типа К-01, К-02, К-08 и др
	Двойная труба типа ДК-57-Б	«Запсибгеология», изготавливается мастерскими	Специальная утолщенная твердосплавная
	Двойная труба типа ДКТБ-57	То же	То же

по типу промывки в керноприемной части снаряда

конструкций средств отбора керна			Условия применения средств отбора керна (по рекомендации разработчика)
Тип рвательного устройства	Тип узла подвески керноприемной трубы, особенности	Дополнительные устройства керноприемной трубы, особенности	
промывка			
Открытого типа, пружинный	Переходник с бурового снаряда на колонковую трубу	—	Монолитные слаботрещинчатые породы VI—XII категории по буримости, неразмываемые породы I—V категорий
промывка			
"	Вращающаяся керноприемная труба, переходник с бурового снаряда на колонковую трубу	Выход жидкости выше рвательного устройства	Монолитные слаботрещинчатые породы VI—XII категории
"	Невращающаяся керноприемная труба, закрытый подшипниковый узел	То же	То же
"	То же	Выход жидкости ниже рвательного устройства	Слаботрещинчатые, преимущественно однородные породы VI—XII категории
"	"	Сигнализатор самоподклинивания, приспособления для подъема керноприемной трубы овершотом	Монолитные, слаботрещинчатые и трещиноватые породы VI—X категории
Открытого типа, пружинный штамп на керноприемной трубе	"	Кассета внутри керноприемной трубы	Трещиноватые и слабые породы угольных месторождений Кузбасса
Открытого типа, лепестковый	"	—	То же

Характеристика промывки	Средства отбора зерна	Разработчик средств отбора зерна и стадия разработки	Характеристика
			Тип коронки, ее характеристика
	Двойная труба типа ДКСВ-108/89	«Волковгеология», изготавливается мастерскими	То же
	Двойная колонковая труба типа 34Д-93	«Сахалингеология», изготавливается мастерскими	»
	Двойная колонковая труба типа ДКТ-76	«Бурятгеология», изготавливается мастерскими	Специальная утолщенная ступенчатая твердосплавная
	Двойная колонковая труба типа ДКН-К1-76, ДКН-К1-59	«Кривбассгеология», изготавливается мастерскими	Серийные алмазные с проточкой по внутреннему диаметру
	Двойная колонковая труба типа ДКН-59	«Севзапгеология», изготавливается мастерскими	Специальная твердосплавная утолщенная
			Обратная
Всасывающая	Двойные эжекторные снаряды типа ДЭС-89, ДЭС-73	ЦНИГРИ, серийные	Специальные алмазные и твердосплавные
	Двойная труба типа ЭКСТ	КазИМС, опытные образцы	Специальная утолщенная твердосплавная
	Двойная труба типа КНТ-76, КНТ-59	«Бурятгеология», изготавливается мастерскими	Алмазные для труб ТДН-2

конструкций средств отбора зерна			Условия применения средств отбора зерна (по рекомендации разработчика)
Тип рвательного устройства	Тип узла подвески керноприемной трубы, особенности	Дополнительные устройства керноприемной трубы, особенности	
То же	"	—	Конгломераты, гравели- ты, метаморфический комплекс горных по- род
Открытого типа, зубчатый	Невращающаяся керноприемная труба, откры- тый подшипни- ковый узел на шаровой пяте	—	Осадочный комплекс пород
Открытого типа, лепестковый	Невращающаяся керноприемная труба, закры- тый подшипни- ковый узел	—	Угольное месторожде- ние
То же	То же	—	Сильнотрещиноватые, крепкие железные ру- ды, джеспилиты, ро- говики IX—XI кате- гории
Без кернорвате- ля	Невращающаяся керноприемная труба, откры- тый подшипни- ковый узел на шаровой пяте	Встроенный в керноприемную трубу поршень	Месторождение фосфо- ритов
промывка			
Открытого типа, пружинный	Невращающаяся керноприемная труба, закры- тый подшипни- ковый узел	Шламочная труба закрытого типа	Месторождения олова, золота, ртутя
Открытого типа, лепестковый	То же	То же	Комплекс трещинова- тых пород V—IX ка- тегории
Открытого типа, пружинный	"	Шламочная труба, сильфон, кос- венное ориен- тирование кер- на	Трещиноватые породы VI—XII категории

Наименование	Средства отбора керн	Разработчик средств отбора керн и старин разработчи	Характеристика
			Тип коронки, ее характеристика
Нагнетательная	Двойная труба типа ТДН-76 УТ, ТДН-59 УТ	ВНГР, серийные	Алмазные типа КУТ и КУТИ
	Однорянные сна- ряды с терме- тильной устан- овкой	То же	Серийные алмаз- ные и твердо- сплавные
	С двойной ко- лонной бу- рильных труб и гидрогране- портом керн	СКБ МГ СССР, серийные	Специальные твердосплав- ные
	Однорянные на- керные снаря- ды типа КИБ, КИП	«Уралгеология», изготавливается мастерскими	Серийные
	Двойные колон- ковые трубы типа ТДН-О	ВНГР, серийные	Специальные ал- мазные
	Двойные колон- ковые трубы типа ДКНТ-ВП	КазИМС, серий- ные	Специальные твердосплав- ные
Вращательная	Двойная труба типа ТДН-76- ОТ	«Красноярскгео- логия», изго- товляется мас- терскими	То же
	Однорянный эжек- торный снаряд типа ОЭС	ЦНИГРИ, се- рийные	Серийные алмаз- ные и твердо- сплавные
	Однорянные эжек- торные снаря- ды конструк- ций ЭКС, ОЭТ, ЭЦ и др.	САИГИМС, Дон- бассгеология	То же
	Однорянный эжек- торный снаряд с вибратором типа УКН	«Севургеоло- гия», изготов- ляется мастер- скими	"

конструкций средств отбора керн

Тип врательного устройства	Тип узла подвески керноприемной трубы, особенности	Дополнительные устройства керноприемной трубы, особенности	Условия применения средств отбора керн (по рекомендации разработчика)
Открытого типа, пружинный	"	—	Трещиноватые породы VI—XII категории
То же	Переходник с бурового снаряда на колонковую трубу	Герметизатор устья скважины типа УГ	Горные породы IV—XII категории, без ощутимых потерь промывочной жидкости в скважине
Кернолом	—	—	Бокситовые, силикатно-никелевые месторождения
Открытого типа, пружинный	Пакерный переходник	—	Горные породы VI—XII категории, без потерь жидкости в скважине
Открытого типа, пружинный и лепестковый	Невращающаяся керноприемная труба, открытый и закрытый подшипниковый узел	—	Трещиноватые и сильнотрещиноватые породы VI—XII категории
Открытого типа, лепестковый	Невращающаяся керноприемная труба, закрытый подшипниковый узел	Шламная труба с гидроклоном	Трещиноватые и сильнотрещиноватые породы IV—IX категории
Открытого типа, пружинный	То же	—	Трещиноватые породы VI—IX категории
Без кернорвательства	Простой переходник с бурового снаряда на колонковую трубу	Закрытая шламовая труба	Трещиноватые и перемежающиеся по крепости породы
То же	То же	То же	То же
"	"	Вибратор, шламовая труба	Трещиноватые и перемежающиеся по крепости породы

Характеристика пробы	Средства отбора керн	Разработчик средств отбора керн и стадия разработки	Характеристика
			Тип коронки, ее характеристика
Всасывающая периодическая	Однорядный снаряд с эрлифтным насосом типа КОЭН	ВИТР	"
	Двойные эжекторные снаряды типа ДЭКС	«Центргеология», изготавливается мастерскими	Две твердосплавные
	Двойной эжекторный снаряд типа ТЭД	«Уралгеология», изготавливается мастерскими	Две алмазные
	Двойная колонковая труба типа СЭ	«Востказгеология»	Проточенные алмазные типа АКУ
	Двойные колонковые трубы типа ЭКС	«Запказгеология»	Алмазные и твердосплавные
	Безнасосное бурение		Преимущественно серийные твердосплавные
Без движения промывочной жидкости в керноприемной части снаряда	Снаряды с погружным поршневым насосом с механическим или гидравлическим приводом	На стадии экспериментов	Серийные
	Двойные колонковые трубы типа ТДН-4	ВИТР, серийные	Специальные алмазные

конструкций средств отбора керна

Тип вращательного устройства	Тип узла подвески керноприемной трубы, особенности	Дополнительные устройства керноприемной трубы, особенности	Условия применения средств отбора керна (по рекомендации разработчика)
"	"	Эрлифтный насос	То же
"	Вращающаяся керноприемная труба, подшипниковый узел, переходник с бурового снаряда на колонковую трубу	Шламочная труба	Трещиноватые и перемежающиеся по крепости породы V—VIII категории
Открытого типа, пружинный	Вращающаяся керноприемная труба, переходник с бурового снаряда на колонковую трубу	То же	Трещиноватые и перемежающиеся по крепости породы VI—XII категории
То же	То же	Гидроциклонный шлагоуловитель	Сильнотрещиноватые породы VI—XII категории
"	"	Шламочная труба	Сильнотрещиноватые породы III—XII категории
Без кернорвательства	Простой переходник с бурового снаряда на колонковую трубу	Шариковый клапан для создания обратной циркуляции, иногда шламочная труба	Силикатно-никелевые, бокситовые, фосфоритовые месторождения
То же	То же	Встроенный погружной насос	
Открытого типа, пружинный	Невращающаяся керноприемная труба, закрытый подшипниковый узел	Встроенный погружной насос	Сильнотрещиноватые породы VI—XII категории

Характеристика промывки	Средства отбора керна	Разработчик средств отбора керна и стадии разработки	Характеристика
			Тип коронки, ее характеристика
	Двойные колонковые трубы с опережающей керноприемной трубой	Двойная труба Ракова (б. «Львовуглегеология»), изготовляется мастерскими	Две алмазные или твердосплавные
	Двойная колонковая труба (С Е Алексеевко) ДТА-2	«Донбассгеология», серийная	Твердосплавная коронка и штамп
	Двойная труба ДонбассНИЛ-I	ДонбассНИЛ, опытные образцы	То же
	Двойная труба ДонбассНИЛ-II	То же	Две твердосплавные
	ДонбассНИЛ-III	„	Твердосплавная коронка и штамп
			Без
	Шнеко-колонковое бурение	Серийные	Шнек
	Вибробурение	„	Штамп или коронка
	Грунтонос забивного действия	„	Штамп

конструкций средств отбора керн

Тип врательного устройства	Тип узла подвески керноприемной трубы, особенности	Дополнительные устройства керноприемной трубы, особенности	Условия применения средств отбора керн (по рекомендации разработчика)
Открытого типа, пружинный или лепестковый	Вращающаяся керноприемная труба, подшипниковый узла нет	—	Сильнотрещиноватые, перемежающиеся по крепости породы
Закрытого типа, лепестковый	Невращающаяся керноприемная труба, открытый подшипниковый узел на шаровой пяте	Внутри керноприемной трубы разъемная кассета	Угольное месторождение
Кольцевой выступ на штампе	Невращающаяся керноприемная труба, закрытый подшипниковый узел	Пружина для автоматической регулировки опережения керноприемной трубы	То же
Кольцевой выступ на внутренней коронке	Труба может вращаться и не вращаться	Пружинно-фрикционный механизм	"
То же	То же	Вибратор пружинный	"
промывки			
Затирка керн всухую	—	—	Горные породы I—IV категории
То же	—	—	То же
"	—	—	Глина, супеси, пески

Основным критерием представительности керна является его высокий линейный, массовый и объемный выход. Не менее важным критерием является его качество, под которым подразумевается степень сохранения в керне в неизменном, ненарушенном виде структуры, текстуры, трещиноватости и других геологических характеристик буримой породы. Таким образом, понятие представительности керна состоит в единстве его достаточного количества и качества. Низкий выход и неудовлетворительное качество керна значительно снижают эффективность бурения, вызывают необходимость проведения дополнительных работ по доразведке месторождений.

При обеспечении кондиционного керна необходимо стремиться к получению достоверной геологической информации по керновому материалу с минимальными экономическими затратами.

Как правило, в большинстве случаев это достигается за счет применения специальных технических средств отбора керна. В настоящее время разработан достаточно широкий комплекс разнообразных технических средств для отбора керна. Технические характеристики этих средств и их конструктивные особенности хорошо описаны в научной литературе последних лет [29—31, 35, 36 и др.] и поэтому здесь детально не рассматриваются. В настоящей же работе остановимся только на вопросе классификации всех имеющихся технических средств отбора керна по какому-либо одному из основных признаков.

Технические средства для отбора керна включают множество устройств и конструкций колонковых снарядов, позволяющих получить кондиционный выход керна в различных горно-геологических условиях. Одни из них нашли широкое применение в практике работ, другие применяются в узких специфических условиях, третьи пока не находят применения из-за сложности и громоздкости конструкций или трудности реализации принципа их работы.

Известно, что основная задача средств отбора керна — ограждение последнего от разрушающих воздействий промывочной жидкости и вибраций бурового инструмента, а также обеспечение надежного отрыва керна и удержание его при подъеме инструмента. Таким образом, на выход керна оказывают влияние конструктивные особенности колонковых снарядов и тип применяемого породоразрушающего инструмента: система промывки в керноприемной части снаряда, конструкция керноприемной трубы и ее соединений, способ заклипывания керна, конструкция породоразрушающего инструмента и диаметр применяемых средств.

Большое разнообразие средств отбора керна выдвинуло проблему их классификации по одному из основных признаков, например по конструктивным особенностям для двойных колонковых труб или типу промывки в скважине для средств с обратной промывкой и др. Известны классификации А. К. Атякина, Б. И. Воздвиженского, С. А. Волкова, В. Т. Воротынцева, С. С. Сулакшина.

Последняя представляется наиболее полной, так как охватывает все средства отбора керна независимо от их конструктивных

особенностей. В основу классификации положены системы промывки в скважине, по которым все технические средства подразделяются на следующие группы:

— снаряды, работающие с прямой промывкой (продувкой), нагнетаемой с поверхности насосом или компрессором;

— снаряды с местной (призобойной) обратной или прямой промывкой;

— снаряды для бурения без промывки («всухую»).

В то же время роль промывочной жидкости в формировании керна не раскрывается.

Очевидно, за основу классификации технических средств для отбора керна необходимо принимать систему промывки не в скважине, а в керноприемной части снаряда, в которой промывочная жидкость непосредственно контактирует с керном. Типы промывки достаточно разнообразны, технические средства в различной степени защищают керн от воздействия жидкости, поэтому характер промывки в керноприемной части снаряда во многом определяет выход керна. По степени уменьшения влияния разрушающего фактора промывочной жидкости на керн можно построить ранговую шкалу промывок в керноприемной части снаряда, а на основе этой шкалы — классификацию средств отбора керна. Такая классификация технических средств отбора керна по типу промывки в керноприемной части снаряда, разработанная в ВИТР [37], приведена в табл. 4.3.

Как видно, большинство средств отбора представляют одинарные или двойные колонковые снаряды, для которых кроме типа промывки характерны соответствующие конструктивные элементы: тип породоразрушающего инструмента, рвательного устройства, узла подвески и дополнительные устройства.

ТЕХНОЛОГИЯ АЛМАЗНОГО БУРЕНИЯ СКВАЖИН В ТРЕЩИНОВАТЫХ ПОРОДАХ

5.1. Особенности разрушения трещиноватых горных пород при алмазном бурении

Бурение алмазными коронками в трещиноватых горных породах имеет ряд особенностей. Кроме разработки новых алмазных коронок и определения границ их рационального использования огромное влияние на процесс алмазного бурения в трещиноватых породах оказывает правильное установление оптимальных сочетаний режимных параметров, и в первую очередь таких из них, как осевая нагрузка на коронку и частота вращения инструмента.

При бурении трещиноватых пород износ коронок увеличивается с увеличением как осевых нагрузок на инструмент, так и частоты вращения снаряда. С изменением этих режимных параметров меняются также и другие показатели алмазного бурения: механическая скорость бурения, выход керна и т. д. Следовательно, с увеличением степени трещиноватости пород эти режимные параметры также должны меняться. Экспериментальными исследованиями и данными практики установлено, что осевая нагрузка на коронку и частота вращения снаряда должны снижаться по мере увеличения трещиноватости пород до 40—50% от значений, принятых для плотных пород. Это связано с тем, что с увеличением трещиноватости пород изменяется механизм их разрушения.

Трещины способствуют одностороннему развитию деформаций разрушения, которые будут проходить в них ранее, чем в других местах. А это не только исказит механизм разрушения, но и облегчит его, поскольку для разрушения потребуются меньшие внешние силы. Степень облегчения разрушения будет зависеть от размера трещиноватости и положения ее относительно направления действия внешних сил. Таким образом, для разрушения трещиноватой породы необходимо затратить меньшее усилие, чем для разрушения плотной породы. Причем снижение усилия будет зависеть от размера трещины, их направления и частоты встречи. Единичные трещины не могут оказать решающего воздействия на работу коронок, каких бы размеров они ни достигали. Существенное влияние на работу коронок, и особенно на их износ, может оказать лишь бурение пород с достаточно большим количеством встречающихся трещин, когда отрицательные факторы, воздействующие на коронку, при пересечении каждой трещины накапливаются и суммируются.

Рассмотрим характер воздействия прилагаемых нагрузок на горную породу. Разрушение горных пород при алмазном бурении происходит в основном путем резания, смятия и раздавливания. Причем преобладающим видом разрушения при бурении в твердых породах ($P_{ш} \geq 600$ кгс/мм²) алмазами округлой формы, по данным П. Н. Курочкина [38], является раздавливание (при работе овализованными алмазами — в 84 случаях из 100, при работе полированными алмазами — в 96 случаях из 100). Разрушение пород резанием по тем же данным происходит крайне редко. Процесс разрушения породы смятием невыгоден. При смятии выход разрушенного материала затруднен, поэтому на практике такое разрушение сопровождается повторными зажимами и дроблением уже отделенной породы, на что затрачивается много лишней работы. При разрушении породы раздавливанием шлам либо выходит перед алмазом, либо спрессовывается под алмазом и частично выдавливается по сторонам, а частично отслаивается в виде стружки за алмазом.

Иногда в работе алмаза могут наблюдаться пульсации. Алмаз в этом случае проходит какой-то участок пути вхолостую, а затем, раздавив породу, погружается в нее на глубину, соответствующую его собственным упругим деформациям. При этом придавливающее (осевое) усилие P_y изменяется от нуля до максимального значения и обратно. В многолезцовых инструментах в силу несовпадения фаз действия пульсации обычно невелики и нагрузки стабилизируются. При этом смещающая сила $P_x = P_y \cdot f_{ос}$, где $f_{ос}$ — коэффициент сопротивления движению, ориентировочно равный $\sim 0,5$. Так как значение упругого погружения инструмента в породу невелико, приближенно можно считать, что для горных пород коэффициент сопротивления движению равен коэффициенту трения.

О циклическом характере работы алмаза в процессе разрушения горных пород говорится также в работе М. И. Исаева и П. В. Пономарева [39]. Они отмечают, что разрушение горных пород при алмазном бурении является динамическим процессом и происходит за счет упругих волн сжатия—растяжения, распространяющихся от алмаза. При этом в упруго-хрупких породах упругая волна разрушает некоторый объем породы, после чего алмаз движется почти вхолостую. Затем алмаз наносит новый микроудар, передавая забою новую порцию энергии. Волна сжатия, распространяясь в породе, снова приводит к развитию микро- и макротрещин и разрушению породы. Таким образом, в упруго-хрупких породах разрушение происходит циклически: микроудар—холостой ход — микроудар — холостой ход и т. д.

Такой циклический или импульсный характер процесса подтверждается также осциллограммами осевого и тангенциального усилия при разрушении упруго-хрупких пород. По данным П. Н. Курочкина [38], тангенциальное усилие на алмазе в момент пересечения им открытой трещины изменяется в течение 0,0005—0,004 с от нуля до максимального значения, превышающего сред-

ного инструмента на алмаз до 2 раз. Причем в момент вхождения алмаза в открытую трещину осевая и тангенциальная составляющие усилий падают до нуля, а затем при встрече с породой происходит резкое возрастание обеих этих составляющих усилий резания до максимального значения.

Плмз-позитив характер приложения усилий приводит к тому, что при работе алмазной коронки каждый алмаз в ней воспринимает динамические нагрузки, возникающие в результате увеличения силы сопротивления движению алмаза. Причем особенно велики в динамическом отношении нагрузки на алмаз при бурении в трещиноватых породах. Действительно, с увеличением трещиноватости породы за счет увеличения количества ударов и энергии каждого удара возрастает величина механическая скорость бурения, но одновременно с ней увеличивается и сила удара на алмаз, а это приводит к интенсивному износу алмазных коронок, сколу и смыванию алмазов и т. п.

По мнению А. М. Ступакной [10, 11], удельная энергия, затрачиваемая на разрушение алмаза при динамическом приложении нагрузки, приблизительно в 4 раза ниже, чем при статическом, и следовательно соответственно $A_{дин} = 1,8 \pm 6,8 \text{ дж/см}^2$ и $A_{ст} =$

$7,0 \pm 11,3 \text{ дж/см}^2$. Кроме того, наличие в кристаллах алмаза различных дефектов и трещин также понижает их прочность в 1,1—1,9 раза.

Основной причиной интенсивного износа алмазных коронок при бурении трещиноватых пород является резкое (до 2 раз) увеличение сил сопротивления движению алмаза при пересечении трещины, приводящее к его сколу. Практически во всех случаях сопротивление движению алмаза не зависит от осевой нагрузки на коронку, поэтому в процессе бурения в трещиноватых породах особенно динамичные усилия на алмаз за счет уменьшения нагрузки на породоразрушающий инструмент невозможно. В этих условиях динамические усилия на алмазы следует уменьшать путем снижения частоты вращения коронки. Снижение частот вращения коронки следует определять исходя из допустимой энергии удара алмазов при пересечении ими трещин с учетом количества и размера осколков трещин.

Таким образом, рассмотрев особенности разрушения трещиноватых горных пород, можно в яком виде свести их к нескольким основным по условиям, которые необходимо учитывать при разработке пород коронок и проектировании режимов алмазного бурения в трещиноватых породах:

преобладающим видом разрушения трещиноватых твердых горных пород при алмазном бурении является расслаивание, реже сдвиг и еще реже резание;

с увеличением количества трещин, пересекающих горную породу, механическая прочность этой породы снижается. Следовательно, для разрушения породы нарушенной системой трещин необходимо затрачивать меньшие усилия, чем для разрушения сплошной породы. Снижение усилий зависит от количества трещин,

их размера и направления. Единичные трещины не оказывают решающего воздействия на работу коронок;

— при пересечении алмазом открытой трещины усилия на алмаз изменяются от нуля до максимального значения, т. е. процесс разрушения трещиноватой горной породы носит циклический или импульсный характер;

— удельная энергия, затрачиваемая на разрушение алмаза, при динамическом приложении нагрузки приблизительно в 4 раза ниже, чем при статическом;

— при встрече алмаза с трещиной происходит увеличение в 1,5–2,0 раза силы сопротивления движению алмаза. Именно в результате увеличения этого сопротивления алмаз и испытывает динамические удары, которые могут привести к его сколу и выкрашиванию из коронки;

— динамические усилия на алмазы могут быть уменьшены путем снижения частоты вращения снаряда, допустимые значения которой следует определять исходя из допустимой энергии удара алмазов при пересечении ими трещин с учетом количества и размеров этих трещин.

5.2. Разработка и выбор оптимальных технологических режимов бурения скважин в трещиноватых породах

Под термином «режим бурения» понимается совокупность параметров, характеризующих работу бурового снаряда.

При вращательном бурении основными параметрами являются:

- частота вращения бурового снаряда (n);
- осевая нагрузка на породоразрушающий инструмент (P);
- расход очистного агента (Q).

Различают оптимальный и специальный режимы бурения. Оптимальным следует считать режим бурения, обеспечивающий получение наилучших технико-экономических показателей бурения с учетом конкретных горно-геологических, технических и организационных условий. Режим бурения, обеспечивающий получение заданных качественных показателей бурения или решение специальных технологических задач (повышение выхода керна, управление траекторией скважины и др.), является специальным.

При бурении в трещиноватых породах, как уже отмечалось выше, большое влияние на процесс бурения оказывают такие режимные параметры, как осевая нагрузка на коронку и частота вращения снаряда. Осевая нагрузка на коронку $P_{ос}$ может быть определена по формуле

$$P_{ос} = P_d m, \quad (5.1)$$

где P_d — удельная нагрузка на один алмаз, кгс; m — количество объемных алмазов в коронке, шт.

Значение m может быть найдено из следующего выражения:

$$m = (2/3) QC, \quad (5.2)$$

где σ_1 — общая масса алмазов в коронке, кг; γ_1 — коэффициент концентрации алмазов на общей массе алмазов в коронке; σ_2 — масса алмазов в единицу времени, кг; C — прочность алмазов, кг/см².

Таким образом, можно считать, что представляется затруднений.

Удельная P_1 — удельная нагрузка в зависимости от размера алмаза (таблица 1) первой породы (по данным К. Маркса [42, 43], удельная нагрузка на один алмаз может изменяться от 0,4—0,5 до 2,0—2,5 кг/алмаз; по 2,5—4,5 кг/алмаз для пород типа известняк, известняк, известняк, порфирит и т. п.). По данным К. Маркса [42, 43] удельная нагрузка на алмаз составляет 2,5—3,5 кг/алмаз при бурении твердых пород при удельной скорости 2,5—3,5 м/мин. Теоретически не трудно рассчитать удельную нагрузку P_1 на алмазу нагрузку, чтобы получить заданную удельную твердость породы.

Удельная P_2 — удельная нагрузка в зависимости от прочности на сжатие R_1 породы (таблица 2) кг/см². Удельная поверхность алмаза средняя удельная S_1 кг/алмаз 0,14 м². Следовательно, для того, чтобы получить заданную удельную твердость, и ему должна быть приложена нагрузка $P_2 = R_1 / S_1$. В работе М. Д. Хьюза [44] отмечено, что для алмаза, соприкасающийся с забоем, нагрузка должна быть порядка 5,5 кг. Таким образом, для твердых пород (таблица 3) удельная нагрузка по буримости удельные нагрузки на алмазу должны находиться в пределах 5—8,5 кг. Зная удельную поверхность S_1 нагрузку на алмаз, можно получить осевую нагрузку P_2 на алмазу.

Удельная P_3 — удельная нагрузка коронками с различной толщиной T и количеством n алмазов алмазу нагрузку на коронку определять по формуле

$$P_3 = P_1 + P_2 + F_1 + C, \quad (5.3)$$

где F_1 — нагрузка алмазу на 1 см² активной рабочей поверхности алмазу в единицу времени; F_2 — активная рабочая поверхность торца алмазу см²; C — коэффициент, учитывающий степень трещиноватости породы.

Удельная нагрузка P_3 на поверхность алмазу коронки следует учитывать по формуле удельная поверхность матрицы коронки за вычетом удельной удельной поверхности промывочными каналами.

Удельная нагрузка P_3 на поверхность коронки определится из формулы

$$P_3 = F_1 + F_2 - F_3, \quad (5.4)$$

$$F_3 = \frac{T}{T} (D^2 - d^2) - Tln, \quad (5.5)$$

где T — толщина алмазу коронки, см²; F_3 — площадь, занимаемая алмазу торца алмазу см²; D и d — соответственно наружный и внутренний диаметры коронки, см; T — толщина матрицы коронки, см; T — диаметр промывочного канала, см; n — количество промывочных каналов.

Для применяемых в практике бурения алмазных коронок диаметром 59 мм активная рабочая поверхность торца коронки, предназначенной для различных групп горных пород по трещиноватости: для I группы — 9,75, для II группы — 11,44, для III группы — 13,47, для IV группы — 12,20, для V группы — 14,30 см².

Значения удельных нагрузок на 1 см² активной рабочей поверхности коронки приняты на основании действующих инструктивных материалов [21, 35] следующими:

для пород VII—VIII категории по буримости 52—70 кгс/см²;

для пород IX—X категории по буримости 70—105 кгс/см²;

для пород XI—XII категории по буримости 87—140 кгс/см².

Коэффициент C введен в формулу (5.3) на основании следующих положений. Известно, что при алмазном бурении должна соблюдаться строгая координация частоты вращения снаряда (n) с осевой нагрузкой на инструмент ($P_{ос}$). С повышением n одновременно должна быть повышена и $P_{ос}$, и наоборот. При бурении трещиноватых пород n снижается до 50% и более от значений, принятых для плотных пород. Значит одновременно должна снижаться и $P_{ос}$. С увеличением трещиноватости пород их механическая прочность уменьшается. Следовательно, для разрушения трещиноватой породы необходимо затрачивать меньшие усилия, чем для разрушения плотной.

По данным практики и результатам экспериментальных работ с увеличением трещиноватости породы значения осевых нагрузок на коронку снижаются до 40—50% от оптимальных для плотных пород. В зависимости от удельной кусковатости керна коэффициент C изменяется от 1,0 до 0,6 и составляет для I группы пород по трещиноватости 1,0, для II группы — 0,9, для III группы — 0,8, для IV группы — 0,7, для V группы — 0,6. Рекомендуемые значения осевых нагрузок, рассчитанные по формуле (5.3), для коронок разных типов диаметром 59 мм приведены в табл. 5.1. Для коронок других диаметров значения $P_{ос}$ могут быть рассчитаны по изложенной методике.

Для определения частоты вращения бурового снаряда воспользуемся формулой, предложенной П. Н. Курочкиным [38]. Эта формула предусматривает возможность определения безопасной частоты вращения снаряда исходя из допустимой энергии удара алмаза в момент встречи его с трещиной. Рассмотрим формулу с точки зрения возможности применения ее для нашего случая, т. е. для определения частоты вращения снаряда при бурении в породах разной степени трещиноватости. Частоту вращения снаряда n при заданной или известной заранее осевой нагрузке на коронку P рекомендуется определять по следующей формуле:

$$n = 34,2 \frac{A_{уд} m}{PDK\varphi\lambda\delta t}, \quad (5.6)$$

где $A_{уд}$ — работа, необходимая для разрушения алмаза при динамическом нагружении, кгс · м (по данным Л. М. Ступкиной, для алмазов зернистостью 30—90 шт./карат $A_{уд} = 0,018 \div$

Таблица 5.1

Рекомендуемые значения осевых нагрузок на алмазные коронки диаметром 59 мм для бурения горных пород различной степени трещиноватости и твердости $P_{ос}$, кгс

Физико-механическая характеристика горных пород	Группы горных пород по трещиноватости				
	I	II	III	IV	V
Твердость пород по штампу 200—400 кгс/мм ² , VII—VIII категория пород по буримости	500—700	550—700	550—750	450—600	450—600
Твердость пород по штампу 400—600 кгс/мм ² , IX—X категория пород по буримости	700—1000	700—1100	750—1150	600—900	600—900
Твердость горных пород по штампу 600—800 кгс/мм ² , XI—XII категория пород по буримости	850—1350	900—1400	950—1500	750—1200	750—1200

0,02 кгс·м); m — число торцевых алмазов, шт.; 34,2 — коэффициент пересчета; P — нагрузка на коронку, кгс; D — диаметр окружности, на которой расположен алмаз, м; K — коэффициент, учитывающий твердость горных пород и размер алмазов ($K = 1,0 \div 2,0$); φ — коэффициент запаса прочности алмаза ($\varphi = 1,5 \div 2,0$); λ — коэффициент, учитывающий возрастание нагрузки на коронку в результате вибрации колонны бурильных труб ($\lambda = 1,2 \div 1,5$); Δt — время возрастания усилий резания от нуля до максимального значения, с.

Рассмотрим каждый член этой формулы. Работа, затрачиваемая на деформацию алмаза в момент микроудара, может быть определена по формуле

$$A_{уд} = (1/2) Fv\Delta t, \quad (5.7)$$

где F — суммарное усилие, действующее на алмаз, кгс; v — скорость перемещения алмаза по породе; м/с.

Суммарное усилие резания

$$F = \sqrt{P_{ос}^2 + P_{\tau}^2}, \quad (5.8)$$

где $P_{ос}$ — осевая составляющая резания, кгс; P_{τ} — тангенциальная составляющая резания, кгс.

В свою очередь

$$P_{\tau} = P_{ос} f_{ос}, \quad (5.9)$$

где $f_{ос}$ — коэффициент сопротивления движению, приближенно равный 0,5.

Тогда

$$F = \sqrt{P_{ос}^2 + P_{ос}^2 f_{ос}^2} = 1,12 P_{ос}. \quad (5.10)$$

Ранее уже было установлено, что усилие в момент удара алмаза по породе достигает максимального значения, превышающего в зависимости от твердости породы среднюю нагрузку на алмаз до двух раз. Эта разница между средней нагрузкой на алмаз и ее максимальным значением учитывается коэффициентом K . В практических расчетах коэффициент K может быть принят равным:

- для горных пород с твердостью по штампу 200—400 кгс/мм² — 1,0;
- для горных пород с твердостью по штампу 400—600 кгс/мм² — 1,5;
- для горных пород с твердостью по штампу 600—800 кгс/мм² — 2,0.

Таким образом,

$$F = 1,12 P_{oc} K, \quad (5.11)$$

Скорость перемещения алмаза по породе или, другими словами, окружная скорость вращения алмаза (коронки) определится из выражения

$$v = \frac{\pi (D_1 + D_2) n}{60 \cdot 2}, \quad (5.12)$$

где D_1 и D_2 — соответственно наружный и внутренний диаметры коронки, м.

Коэффициенты φ и λ , введенные в рассматриваемую нами формулу и установленные опытным путем, играют положительную роль, так как повышают гарантию того, что определенная с их помощью частота вращения снаряда будет действительно безопасной с точки зрения разрушения алмаза при ударе.

И наконец, последний член формулы Δt — время возрастания усилий резания от нуля до максимального значения. Иначе эту величину можно назвать «временем прохождения алмаза через трещину» или «временем, затрачиваемым на скол горной породы в момент встречи алмаза с трещиной». При встрече алмаза со стенкой трещины скол горной породы происходит на участке, в среднем равном 1 мм. Время возрастания усилий резания, т. е. время, затрачиваемое на скол горной породы на участке в 1 мм, в среднем составляет 0,002 с.

В рассматриваемом случае Δt определена экспериментальным путем, причем значение величины Δt принято равным 0,002 с. Следовательно, рассматриваемая нами формула справедлива только для одного частного случая, когда алмаз пересекает на своем пути, равном одному обороту коронки, всего одну трещину, которая была в образце горной породы при проведении эксперимента. В то же время, когда мы имеем дело с реальными горными породами на забое скважины, алмаз может пересечь на пути, равном одному обороту коронки, не одну, а несколько трещин. Соответственно увеличатся количество сколов горной породы при встрече алмаза с этими трещинами и время, затрачиваемое на эти сколы,

а значит безопасная частота вращения снаряда будет несколько иной, чем определенная по приведенной формуле (5.6). Чем больше трещин пересекает алмаз на пути в один оборот коронки, тем больше он испытывает ударов о трещины и тем меньше должна быть допустимая частота вращения бурового снаряда.

Таким образом, приведенная формула (5.6) не учитывает возможной частоты встречи трещин, т. е. степени трещиноватости породы. Уточним формулу (5.6). Введем в формулу (5.6) дополнительный коэффициент a , учитывающий количество трещин, встречаемых алмазом за один полный оборот коронки. Кроме того, Δt определена экспериментальным путем при постоянной частоте вращения снаряда. В то же время значение Δt будет изменяться в зависимости от частоты вращения снаряда. С достаточной степенью точности можно приравнять время, затрачиваемое на скос горной породы на участке длиной 1 мм (Δt), к времени, затрачиваемому алмазом на прохождение участка пути той же длины. Обозначим это время через t . Значение t может быть рассчитано по формуле

$$t = 60/n S, \quad (5.13)$$

где n — частота вращения снаряда, об/мин; S — путь, проходимый коронкой за один полный оборот, мм.

В свою очередь S может быть рассчитан по формуле

$$S = \pi (D_1 + D_2)/2, \quad (5.14)$$

где D_1 и D_2 — соответственно наружный и внутренний диаметры коронки, мм.

Рассчитанные по формуле (5.13) значения t для коронок диаметром 59 мм приведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Значения t для различных частот вращения снаряда n

n , об/мин	t , с	n , об/мин	t , с
100	0,004	600	0,0006
200	0,002	700	0,0005
300	0,001	800	0,0005
400	0,001	900	0,0004
500	0,0008	1000	0,0004

Таким образом, заменив Δt расчетной t и введя дополнительный коэффициент a , в окончательном виде получим следующую формулу:

$$n = 34,2 \frac{A_y m}{PDK_{\psi} t a t} \text{ об/мин.} \quad (5.15)$$

В таком уточненном виде формула может быть использована для расчета допустимых частот вращения снаряда при бурении

в породах различной степени трещиноватости. С помощью этой формулы можно устанавливать пределы изменения частоты вращения снаряда в зависимости от степени трещиноватости пород. Формула (5.15) может служить для руководства при обосновании и разработке оптимальных параметров режима бурения в трещиноватых породах.

Рекомендуемые значения второго режимного параметра, допустимые частоты вращения бурового снаряда для пород различной степени трещиноватости и твердости, рассчитанные по формуле (5.15), приведены в табл. 5.3. Значения осевых нагрузок на коронку взяты из табл. 5.1.

Таблица 5.3

Рекомендуемые значения частоты вращения алмазных коронок диаметром 59 мм для бурения горных пород различной степени трещиноватости и твердости
л, об/мин

Физико-механическая характеристика горных пород	Группы горных пород по трещиноватости				
	I	II	III	IV	V
Твердость пород по штампу 200—400 кгс/мм ² , VII—VIII категория пород по буримости	2200— 1400	1100— 700	750— 500	550— 350	450— 300
Твердость пород по штампу 400—600 кгс/мм ² , IX—X категория пород по буримости	900— 500	450— 225	300— 150	200— 125	175— 100
Твердость пород по штампу 600—800 кгс/мм ² , XI—XII категория пород по буримости	500— 300	300— 150	200— 125	150— 100	125— 75

Третий параметр режима бурения — количество подаваемой в скважину промывочной жидкости — определяется при установленных значениях частоты вращения снаряда и осевой нагрузки на коронку опытным путем. При этом чаще всего используется метод подбора.

5.3. Выбор технических средств для отбора керна

5.3.1. Геолого-технические критерии выбора технических средств для отбора керна

В процессе кернообразования при бурении участвуют три физических тела — горная порода, колонковый снаряд и промывочная жидкость. Каждое из них по-своему влияет на выход керна. Так, с уменьшением прочности пород и увеличением степени их

дезинтеграции сохранение керна требует применения определенных защитных мер, состоящих в уменьшении степени воздействия на керн разрушающих факторов, вызванных наличием промывочной жидкости и вращением бурового снаряда. Изменяя систему промывки, которая для каждого средства отбора керна в достаточной степени индивидуальна, можно добиться повышения выхода керна. Применяя двойные колонковые трубы с невращающейся керноприемной трубой, можно снизить степень истирания керна от вращающегося снаряда и предохранить его от действия поперечных вибраций.

Следовательно, выбор технических средств отбора керна в первую очередь зависит от типа породы и ее физико-механических, структурных и текстурных особенностей. Кроме того, достоверность информации для минералогических, петрографических, структурных, петрохимических и других видов геологических исследований определяется кондиционным выходом керна (принимаемым конкретно для данного типа месторождений, золоторудного, железорудного, бокситового, угольного и т. п.), или задачами конкретных геологических исследований (съемка, поиски, разведка, инженерно-геологические работы и т. п.). Иногда требуется получение дополнительной информации о строении месторождения, о рудной зоне или форме залегания горных пород. В этих случаях необходимо применять соответствующие технические средства, например средства отбора керна, способные попутно отбирать шлам горных пород или получать ориентированный керн.

С точки зрения конструктивных особенностей на выбор средств отбора керна будут оказывать влияние степень защиты керна от разрушающих факторов, простота устройства и эксплуатации, надежность взятия керна, серийность выпускаемых средств и технико-экономические показатели бурения. Причем чем выше степень защиты керна от разрушающих факторов, тем сложнее будет средство, поэтому его использование может быть рациональным только в специфических условиях, для которых оно предназначено. Например, достаточно сложная по конструкции труба ДТА-2 (Алексеев) хорошо зарекомендовала себя на угольных месторождениях. В других условиях (силикатно-никелевые и бокситовые месторождения, опоки, пески) кондиционный выход керна получают, используя более простые средства отбора с обратной промывкой или при вибробурении, шнеко-колонковом бурении. Простота конструкции имеет значение при выборе средств отбора керна, имеющих одинаковые области применения и используемых в одинаковых горно-геологических условиях.

Следует учитывать, что многие местные типы труб повторяют конструкции серийно выпускаемого инструмента. Так, конструкции труб ТДН-К-1 («Южургеология»), ДК-57Б («Запсибгеология») аналогичны серийным трубам ТДН-2 (ВНТР) или серийные эжекторные снаряды ОЭС (ЦНИГРИ) повторяются в местных конструкциях «Красноярскгеологии», «Донбассгеологии» и др.

Таким образом, выбор специальных технических средств для получения кондиционного выхода керна при бурении геологоразведочных скважин осуществляется в зависимости от следующих основных требований:

— обеспечения получения необходимой геологической информации (требования к выходу керна и его качеству);

— горно-технических условий применения специальных технических средств;

— экономической эффективности применения технических средств.

Необходимый уровень геологической информации существенно различен при решении конкретных геологических задач. Для установления наличия полезного ископаемого, получения информации о вмещающих породах, оконтуривания границ пластовых месторождений и аналогичных задач достаточен выход керна в пределах 40—60% от углубки за рейс. Для получения полной геологической информации согласно требованиям Государственной комиссии по запасам СССР для большинства гидротермальных, магматических и осадочных месторождений выход керна должен быть в пределах 60—80%. Полная геологическая информация при разведке на твердые полезные ископаемые любого генезиса может

Таблица 5.4

Геолого-технические критерии выбора технических средств для отбора керна

Группа критериев	Критерии	Количественная оценка критерия
Объективные не управляемые	Трещиноватость пород	Удельная кусковатость керна $K_{уд}$, шт./м
	Динамическая прочность и абразивность	Объединенный показатель r_m категории по буримости
Объективные управляемые	Дополнительные геологические задачи (отбор шлама, газа и т. д.)	—
	Степень защиты керна от разрушающего воздействия промывочной жидкости и вибрации	Степень защиты (слабая, недостаточная, полная)
	Конструктивные особенности породоразрушающего инструмента	Удельный расход алмазов, карат/м
Субъективные управляемые	Степень надежности взятия и удержания керна	Потери керна от рейсовой углубки, %
	Серийность производства технических средств	—
	Технологичность применения	Время сборки и регулировки, мин
	Простота эксплуатации и ремонта	—

быть получена при выходе керна в пределах 80—100%. При проведении инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий в весьма слабых породах, для определения элементов залегания горных пород и решения аналогичных задач необходимо получение керна из материала ненарушенной структуры и ориентированного керна в пределах 98—100%.

После уточнения основного требования по получению необходимого уровня геологической информации выбор технических средств осуществляется по геолого-техническим критериям (табл. 5.4).

Субъективные управляемые критерии применяются только при оценке местных конструкций технических средств, в том случае если эти конструкции удовлетворяют первым разделам критериев I и II группы.

Удельная кусковатость керна $K_{уд}$ и объединенный показатель r_{Σ} определяются по опорной матрице, конструктивные особенности породоразрушающего инструмента — в зависимости от физико-металлических свойств пород: твердосплавный породоразрушающий инструмент не используется при бурении пород IV—VI, алмазный VII—XII категорий по буримости.

В случае, если согласно геолого-техническим условиям поставленную геологическую задачу можно решить одновременно несколькими техническими средствами или методами, выбор специального технического средства производится по минимальной стоимости Г м бурения.

Степень защиты керна, обеспечиваемую конструкцией технического средства, следует оценивать по разработанной В. В. Васильева и В. А. Кауляком [45] ранговой шкале защиты керна от разрушающих воздействий (табл. 5.5).

Таблица 5.5

Ранговые шкалы защиты керна от разрушающих воздействий

Защита от воздействия разрушений и потерь материала при бурении в условиях		Защита от воздействия промывки		Защита от воздействия вращения, вибрации и промывки	
Ранговый поряток	Тип защитного устройства	Ранговый поряток	Тип промывки	Ранговый поряток	Тип кернопримемной трубы
1	Открытого типа (контакт с керном и процессе бурения)	1	Прямая Комбинированная Обратная	1	Одноранговая Двойная вращающаяся Двойная невращающаяся
		2		2	
		3		3	
2	Закрытого типа (без контакта с керном и процессе бурения)	4	Безпромывки	4	Двойная с кернопримемной гильзой

5.3.2. Общие рекомендации по обеспечению кондиционного выхода керна в различных группах горных пород

Области применения технических средств для отбора керна определяются геолого-техническими условиями проведения разведочных скважин, степенью защиты керна от воздействия отрицательных факторов кериообразования и конструктивными особенностями данного технического средства.

Геолого-технические условия бурения определены классификацией пород по трудности отбора керна (см. табл. 3.3).

Породы I группы характеризуются наиболее низким выходом керна (0—20%). Состав и строение этих пород отличаются крайней неоднородностью. Они имеют различное генетическое происхождение и требуют использования специальных технологических методов и технических средств для обеспечения получения кондиционного выхода керна.

В рыхлых, несвязных и размываемых породах (пески, супеси, дресва, валуно-галечные и песчано-глинистые отложения) при бурении скважин глубиной до 50 м рекомендуется применять колонковые снаряды для вибробурения, шнеко-колонкового бурения и снаряды ударного действия.

При вибробурении используются виброснаряды (вибросонды) диаметрами от 40 до 219 мм, длиной от 0,5 до 4 м и установки БУВ-1Б, оборудованные вибромолотом с числом ударов от 1000 до 1400 в 1 мин.

При шнеко-колонковом бурении применяются полые (или магазинные) шнеки или комбинация шнека с колонковым снарядом. Бурение ведется с частотой вращения до 150 об/мин и осевой нагрузкой 200—300 кгс установками УКБ-12/25, с которыми могут использоваться также грунтоносы вращательного действия конструкций ВСЕГИНГЕО и аналогичные конструкции.

Для получения керна в породах первой группы, а также при разведке силикатно-никелевых и бокситовых месторождений и при глубине скважин до 100 м рекомендуется использовать способ бурения с гидротранспортом керна на поверхность комплексов КГК-100.

Для разрушения горных пород применяются специальные твердосплавные коронки или шарошечные долота колонкового бурения. В неоднородных, перемежающихся по твердости слабосвязных и сильнотрещиноватых породах III—VIII категорий по буримости, слагающих ряд гидротермальных, осадочных и инфильтрационных месторождений, а также месторождений коры выветривания, рекомендуется применять эжекторные колонковые снаряды в комплекте с высокочастотными гидроударными машинами и безнасосное бурение. 80—100%-ный выход кернашламового материала в породах I группы обеспечивают специальные комплексы ГРЭС, причем доля шлама в пробе возрастает в рыхлых и несвяз-

ных породах, а также при увеличении степени их неоднородности и трещиноватости.

Кроме того, при бурении связных сильнотрещиноватых пород I группы рекомендуется применять двойные колонковые трубы, обеспечивающие защиту керна от разрушения в сложных геологических условиях:

— применением невращающихся внутренних керноприемных труб;

— использованием схем промывки с полной изоляцией керна от потока промывочной жидкости (трубы ДТА-2, ДонбассНИЛ-I, II, III) или с обеспечением обратной промывки вдоль оси керна (ТДН-О, ДЭС ЦНИГРИ).

Рабочие параметры режимов бурения с двойными колонковыми трубами подбираются в каждом конкретном случае в зависимости от геолого-технических условий бурения и типа применяемой трубы. Для всех указанных двойных колонковых труб осевая нагрузка на инструмент увеличивается в 1,3—1,5 раза по сравнению с рекомендуемой для бурения одинарными колонковыми снарядами в связи с существенным увеличением площади разрушения породы под торцами утолщенных специальных твердосплавных и алмазных коронок.

При бурении пород I группы для предупреждения размыва стенок скважины и керна необходимо обеспечить рациональную скорость потока промывочной жидкости в межтрубном и затрубном зазорах. Так, предельные скорости восходящего потока промывочной жидкости при бурении пород I, II и III категории с промывкой глинистым раствором составляют соответственно 1,5; 2,2 и 5,0, водой — 0,4; 1,2 и 3,4 м/с.

Легкорастворимые минеральные соли и сцементированные льдом многолетнемерзлые породы, входящие в I группу, под воздействием промывочной жидкости легко разрушаются. Для предохранения керна и стенок скважины от разрушения необходимо применять промывочные жидкости, сходные по химическому составу с полезным ископаемым. При бурении растепаемых пород следует применять охлажденные солевые растворы или охлажденный сжатый воздух.

Бурение рыхлых, обводненных пород этой группы рекомендуется осуществлять с опережающим замораживанием с промывкой морозостойким реагентом, охлажденным до минусовой температуры.

Бурение пород I группы рекомендуется проводить на пониженных частотах вращения бурового снаряда (до 500 об/мин), заклинивание керна допускается выполнять методом затирки всухую, колонковые снаряды с керном необходимо поднимать плавно, без рывков и ударов во избежание потери последнего.

Породы II группы характеризуются низким выходом керна (20—40%). Породы связные, в основном неоднородные по строению, средне- и сильнотрещиноватые. Генетическое происхождение самое разнообразное. Для получения кондиционного вы-

хода керна необходимо применять специальные технические средства и технологические методы.

Ввиду большого разнообразия пород II группы рекомендуется использовать следующие специальные технические средства.

Для пород с выходом керна 20—30%:

— гидротранспорт керна (КГК-100);

— эжекторные снаряды (ГРЭС, ДЭС конструкции ЦНИГРИ);

— двойные колонковые трубы (ТДН-О, ДонбассНИЛ-2,3).

Для пород с выходом керна 30—40%:

— двойные трубы с комбинированной промывкой (ТДН-2, ТДН-УТ);

— снаряды со съёмными керноприемниками (ССК и КССК);

— специальные эжекторные снаряды (ГРЭС).

Для повышения технико-экономических показателей бурения и выхода керна в комплект колонкового набора наряду с двойными трубами и эжекторными снарядами следует вводить высокочастотные гидроударные машины типа ГВ (конструкции СКБ Мингео СССР).

Бурение пород II группы производится на пониженных частотах вращения (до 700 об/мин). При этом обязательно применение антивибрационных средств и соосных калиброванных снарядов. Промывку можно проводить глинистыми растворами нормальной и повышенной вязкости, а также водой. При бурении растворимых и растепляемых пород применяют промывочные жидкости специального состава. Срыв керна необходимо осуществлять кернорвателями специальных конструкций, обеспечивающими надежный захват и удержание керна при подъеме из скважины.

Породы III группы характеризуются крайним разнообразием как по геологическим характеристикам (составу, строению, генезису), так и по физико-механическим свойствам (твердости, абразивности, трещиноватости и т. д.). Разнообразное сочетание перечисленных признаков определяет выход керна в пределах 40—60% при бурении одинарными колонковыми снарядами диаметром 59 мм.

Для обеспечения получения кондиционного выхода керна пород III группы рекомендуется использовать специальные технические средства:

— двойные колонковые трубы (ТДН-О, ТДН-2, ТДН-УТ);

— снаряды со съёмными керноприемниками (ССК и КССК);

— эжекторные снаряды (ДЭС);

— специальные эжекторные снаряды (ГРЭС).

При бурении пород II—VI категорий, неоднородных по строению, среднетрещиноватых рекомендуется применение двойных колонковых труб ДонбассНИЛ-1,2. В исключительных случаях, при решении второстепенных геологических задач, в монолитных и слаботрещиноватых комплексах вмещающих пород допускается применение одинарных колонковых снарядов минимальных диаметров при алмазном способе — 59, твердосплавном 76 мм. При этом существенное значение для сохранения керна имеет количество и

качество промывочной жидкости (воды, глинистого раствора нормальной вязкости и пониженной водоотдачи, безглинистого и специального растворов). Обязательно применение антивибрационных средств (антивибрационной смазки, эмульсолов).

Для повышения выхода керна в комплекте с двойными и эжекторными колонковыми снарядами используют высокочастотные гидроударные машины типа ГВ, за исключением разведки на стройматериалы, инженерных изысканий и ряда других работ, когда при алмазном способе бурения запрещается вводить в комплект колонкового снаряда гидроударные машины, так как наложенные высокочастотные ударные импульсы в целом, увеличивая выход керна, резко ухудшают его качество.

Согласно инструкции при бурении двойными колонковыми снарядами и снарядами со съёмными керноприемниками рекомендуется применять оптимальные частоты вращения, одинарными — пониженные (до 500 об/мин).

Заклинивание керна необходимо производить только специальными кернорвателями.

Породы IV группы хотя и отличаются разнообразием по составу и строению, но физико-механические свойства, особенно слабая степень трещиноватости, позволяют получать кондиционный выход керна (60—80%) в большинстве случаев без применения специальных технических средств.

Для бурения монолитных и слаботрещиноватых пород IV группы рекомендуется применять одинарный колонковый снаряд и снаряды со съёмными керноприемниками, а неоднородных по составу и строению, слабосвязных средней трещиноватости ($K_{уд} = 11 \div 30$ шт/м) — специальные технические средства:

— двойные колонковые трубы ТДН-2, ТДН-УТ, комплексы ССК в породах VII—XII категорий (ТДН-2 при промывке глинистым раствором, ТДН-УТ, ССК — водой);

— комплексы КССК в породах III—IX категорий.

Частота вращения бурового снаряда выбирается оптимальной для данного технического средства.

В качестве промывочной жидкости при бурении твердых пород IV группы применяют воду, мягких — глинистые растворы нормальной вязкости, безглинистые и специальные растворы. Для повышения технико-экономических показателей бурения и снижения уровня вибраций обязательно применение эмульсолов.

При бурении одинарными колонковыми снарядами однородных пород средней и высокой твердости необходимо принимать все меры по снижению уровня поперечных вибраций бурового снаряда (соосные снаряды, антивибрационные средства и т. д.), так как в этих породах они являются определяющим фактором разрушения керна.

При бурении перемежающихся по твердости и мягких пород необходимо следить за режимом промывки, постоянно контролировать расход промывочной жидкости по показаниям расходомера или по выходящей струе из скважины. Излишний расход промыв-

вочной жидкости приводит к повышенному износу керна, недостаток — к прижогу породоразрушающего инструмента.

Для получения высоких рейсовых скоростей при бурении монолитных и слаботрещиноватых пород длина колонковой трубы может быть равна 7—9 м. Допускается применять спаренные колонковые трубы. При этом внутренний диаметр соединительного nipples должен обеспечивать свободный проход керна.

При возникновении самозаклинивания керна допускается резко снизить частоту вращения и осевую нагрузку на инструмент без отрыва колонкового снаряда от забоя. При невозможности этого бурение следует прекратить и поднять снаряд на поверхность.

Для повышения технико-экономических показателей бурения и выхода керна допускается применение гидроударных машин типа ГВ (гидроударников высокочастотных) для алмазного бурения и унифицированных гидроударных машин типа Г.

Породы V группы характеризуются высоким выходом керна (80—100%). В группу объединены в основном однородные по составу и строению, монолитные или среднетрещиноватые породы различного генезиса и как исключение включены монолитные неоднородные по составу мелко- и тонкозернистые породы на слабом цементе. По геологическому и физико-механическому свойствам пород V группы для их бурения не требуется применения специальных технических средств.

Для повышения технико-экономических показателей бурения в среднетрещиноватых породах, склонных к самозаклиниванию, рекомендуется применять двойные колонковые трубы типа УТ и снаряды со съёмными керноприемниками (ССК) при максимально возможной частоте вращения бурового снаряда и оптимальной осевой нагрузке.

Одинарные колонковые снаряды обеспечивают кондиционный выход керна практически всех пород, входящих в данную группу. При бурении твердых и весьма твердых пород основным разрушающим фактором кернообразования является вибрация бурового снаряда. В связи с этим обязательно применение антивибрационных средств и соосных компоновок снарядов. Частота вращения бурового снаряда не ограничивается.

В качестве промывочной жидкости следует применять воду или специальные растворы с эмульгирующими добавками и при этом четко контролировать их расход во избежание перегрева и прижога алмазного породоразрушающего инструмента и керна.

Для обеспечения высоких технико-экономических показателей при кондиционном выходе керна рекомендуется применять алмазные коронки с уменьшенной толщиной матрицы и торцом полукруглой формы.

При бурении твердых пород средней трещиноватости частота вращения одинарного колонкового снаряда с алмазной коронкой ограничивается в пределах 700—1000 об/мин. Монолитные и слаботрещиноватые мягкие породы на слабом цементе рекомендуется

Таблица 5.6

Общие рекомендации по обеспечению кондиционного выхода керна в различных группах горных пород

Группа пород	Выход керна, %	Поля опорной матрицы	Категория пород по буримости	Характеристика горных пород	Рекомендуемые технические средства и методы
I	0—20	A-1 до A-9	I—III	Несвязные, рыхлые, размываемые	Вибробурение, шнековое бурение, пневмопробойники, грейферное бурение, безнасосное бурение
		B-8-9, B-8	III—VIII	Неоднородные, перемежающиеся по твердости и однородные слабосвязные, сильнотрещиноватые	КССК, ГРЭС, ДТА-2, безнасосное бурение, гидротранспорт керна (до V категории), ДКНТ-ВП (КазИМС), ССК
		B-9, Г-9, Д-9	III—VI	Связные и слабосвязные, однородные и неоднородные по строению, сильнотрещиноватые	ДонбассНИЛ-1, 2, ГРЭС, ДТА-2, КССК, гидротранспорт керна
II	20—40	B-6	III—IV	Неоднородные, перемежающиеся по твердости, слабосвязные, среднетрещиноватые	КССК, ТДН-2, гидротранспорт керна, ДонбассНИЛ-1, 2
		B-7	IX—XII	То же	ГРЭС, ТДН-0, ТДН-2, ССК
		Г-7-9, Д-8	VII—VIII	Связные, неоднородные и однородные по строению, сильнотрещиноватые	ГРЭС, ТДН-0, ТДН-2, ССК
III	40—60	B-3	III—VI	Неоднородные, перемежающиеся по твердости, слабосвязные, монолитные и слаботрещиноватые	ДонбассНИЛ-1, 2, ТДН-2, КССК
		B-4, Г-5-6	III—VIII	Неоднородные, перемежающиеся по твердости и строе-	ТДН-2, ССК, ГРЭС

Группа пород	Выход керна, %	Поля опорной матрицы	Категория пород по буримости	Характеристика горных пород	Рекомендуемые технические средства и методы
IV	60—80	В-4-5	III—VIII	нию, связные, среднетрещиноватые Однородные, слабобрещиноватые, как исключение среднетрещиноватые	ТДН-2, ССК, ТДН-УТ, ГРЭС
		В-6	IX—XII	Однородные, слабосвязные, среднетрещиноватые	ТДН-О, ТДН-2, ГРЭС
		Д-7	IX—XII	Однородные, связные, сильнотрещиноватые	ТДН-О, ТДН-2, ГРЭС
		Б-1-2, В-1-2	VII—XII	Неоднородные, перемежающиеся по твердости и массивные, слабо-связные, монокристаллические и слабобрещиноватые	ТДН-2, ТДН-УТ, одинарный колонковый снаряд
		В-3, Г-2-3	III—VIII	Однородные и неоднородные по строению, связные, монокристаллические и слабобрещиноватые	ТДН-УТ, КССК, ССК, одинарный колонковый снаряд
		Г-4, Д-4-5	VII—XII	Неоднородные и однородные по строению, связные, среднетрещиноватые	ТДН-УТ, ТДН-2, ССК, одинарный колонковый снаряд
V	80—100	Д-6	III—VI	Однородные, связные, среднетрещиноватые	КССК, ДонбассНИЛ-1, 2, одинарный колонковый снаряд
		Г-1, Д-1	IX—XII	Неоднородные и однородные по строению, связные, монокристаллические и слабобрещиноватые	ТДН-УТ, ССК, одинарный колонковый снаряд

Группа пород	Выход керна, %	Поля опорной матрицы	Категория пород по буримости	Характеристика горных пород	Рекомендуемые технические средства и методы
		Д-2-3	III—VIII	Однородные, связные, монолитные и слабоботрешниватые	ТДН-УТ, ССК, КССК, одинарный колонковый снаряд

Примечание. Приведены технические средства, серийно выпускаемые заводами Миннео СССР.

разбуривать одинарным колонковым снарядом с твердосплавной коронкой при частоте вращения 400—500 об/мин.

При бурении мягких пород во избежание размывания керна особое внимание уделяется расходу промывочной жидкости, который поддерживается на минимальном уровне, обеспечивающем нормальную очистку забоя от шлама. Обязательно применение антивибрационных средств.

При возникновении самозаклинивания керна следует резко снизить частоту вращения и осевую нагрузку на инструмент без отрыва колонкового снаряда от забоя, а через 2—3 мин вернуться к исходным параметрам. Если ликвидировать самозаклинивание не удалось, буровой снаряд поднимают на поверхность.

Для повышения технико-экономических показателей бурения в породах V группы можно рекомендовать введение в состав колонкового снаряда гидроударных машин типа ГВ и Г. Однако при этом следует учитывать, что применение гидроударных машин в комплекте с алмазными коронками существенно снижает качество керна, повышая степень его дробления.

Заклинивание керна, его срыв и удержание при бурении пород данной группы следует производить только специальными кернорвателями.

Оперативный выбор технических средств и методов получения кондиционного выхода керна в породах различных групп с учетом областей применения данных средств и методов следует проводить в соответствии с рекомендациями табл. 5.6.

Кроме того, в табл. 5.7 приведен фактический материал о работе в сложных горно-геологических условиях на отдельных месторождениях страны наиболее широко применяемых в практике бурения двойных колонковых труб. Этими данными можно также руководствоваться при выборе технических средств отбора керна для конкретных комплексов горных пород и условий бурения.

Эталонная схема по выходу керна и классификация пород по трудности отбора керна построены на базе данных бурения коронками диаметром 59 мм. В то же время определенные комплексы

Результаты применения двойных колонковых труб в сложных горно-геологических условиях на отдельных месторождениях страны *

Производственно-геологическое объединение	Краткая характеристика комплекса горных пород	Тип применяемой колонковой трубы	Результаты (средние) применения труб		
			Выход керна, %	Механическая скорость бурения, м/ч	Проходка за рейс, м
Имандровская ГРП, «Севзалгеология»	Сильнотрещиноватые перидотиты, гнейсы, кварциты VIII—X категории по буримости	ТДН-76-УТ	96	1,35	2,9
		ТДН-59-УТ	98	1,74	2,7
		ТДН-46-УТ	98	1,48	3,0
		ОКС-76(59, 46)	73—84	1,09—1,21	2,5—3,0
Майская ГРЭ, «Севлостгеология»	Трещиноватые и слаботрещиноватые порфиры, алевролиты, песчаники, фельзиты, липариты, кварцевые жилы и другие, в основном VIII—IX, реже X—XI категории по буримости	ТДН-76-УТ	90	2,17	2,5
		ТДН-59-УТ	91	2,30	2,7
		ОКС-76(59)	80—81	1,38—1,59	2,9—3,4
Дукатская ГРЭ, «Севлостгеология»	Сильнотрещиноватые и трещиноватые аргиллиты, фельзиты, липариты, кварцевые жилы, туфы и туфобрекчии VIII—X категории по буримости	ТДН-59-2	86	1,95	2,3
		ТДН-59-УТ	92	2,30	2,5
		ТДН-46-2	86	2,50	1,8
		ТДН-46-О	80	2,30	1,3
		ОКС-59(46)	71	2,20	1,0
Криновская ГРЭ, «Южургеология»	Сильнотрещиноватые, раздробленные гематитовые, гематит-мартиновые и мартит-гематитовые роговики и джеспилиты XI—XII категории по буримости пятого и шестого железистых горизонтов	Двойная труба фирмы «Лонгир» диаметром 76 мм	96	0,62	0,4
		Двойная труба фирмы «Ничимен» диаметром 76 мм	98	0,64	1,2
		ТДН-76-2	98	0,85	1,1
		ОКС-76	52	0,25	1,5

Продуктивно-геологическое объединение	Краткая характеристика комплекса горных пород	Тип применяемой колонковой трубы	Результаты (средние) применения труб		
			Выход коры, %	Механическая скорость бурения, м/ч	Продукция на рейс, м
«Приморгеология»	Сильнотрещиноватые, окварцованные и окремненные алевролиты, известняковые брекчии, туфы лапаратовых порфиров, фельзит-порфиры, кремнистые породы VIII—XI категорий по буримости	ТДН-76-2	76	1,02	1,9
		ОКС-76	42	1,09	1,5
«Ташкентгеология»	Сильнотрещиноватые, раздробленные кварциты, гранодиориты, андезитовые порфиры VIII—XI категорий по буримости	ТДН-76-0	87	1,07	1,3
		ОКС-76	49	1,00	0,6
		ТДН-59-0	81	1,05	2,5
		ТДН-59-2	80	1,05	2,1
		ОКС-59	52	0,86	1,6
		КОЭН-76	80	1,12	1,1
		Обычная промывка ДЭС	43	1,30	1,5
«Самаркандгеология»	Трещиноватые углисто-кварцевые песчаники, углисто-слюдистые и слюдяно-кварцевые сланцы VIII—X категорий по буримости	ТДН-76-0	78	0,92	1,4
		ОКС-76	49	0,93	1,7
Горловская ГРЭ, «Донбасгеология»	Трещиноватые, дробленные песчаники VIII—IX категорий по буримости	Двойная труба фирмы «Лонгир» диаметром 93 мм	96	1,02	1,4
		Отечественная ТДН-93-2/0	86	0,96	1,7
		ОКС-93	69	0,93	0,7
Железногорская ГРЭ, «Иркутскгеология»	Трещиноватые скарны VI—VIII категорий по буримости	ТДН-76-0	85	1,50	2,5
		ТДН-76-УТ	83	1,20	2,4
		ОКС-76	50	2,00	3,5
		ТДН-76-УТ	76	1,50	1,2
Бодайбинская ГРЭ, «Иркутскгеология»	Трещиноватые ($K_{уд} = 11 \div 30$ шт./м) песчаники и сланцы VIII—IX категорий по буримости	ТДН-59-УТ	81	1,40	1,7
		ОКС-59(76)	35	1,40	1,0

Мамско-Чуйская ГРЭ, «Иркутскгеология»	Слаботрещиноватые ($K_{уд} = 6 \div 10$ шт./м), кварц-мусковитовый комплекс и слюдяносные пегматиты IX категорий по буримости	ТДН-76-УТ	85	2,00	2,5
		ОКС-76	81	2,60	4,6
Илимская ГРЭ, «Иркутскгеология»	Слаботрещиноватые скарны и сажистая руда VII категории по буримости	ТДН-76-0	75	2,10	1,5
		ТДН-76-УТ	78	2,40	1,3
		ОКС-76	75	2,20	1,0
Северо-Восточная ГРЭ, «Башкиргеология»	Трещиноватые кварц-серпичитовые породы и медный колчедан VI—IX категорий по буримости	ТДН-59-УТ	70—90	0,60	1,0
		ОКС-59	40—60	0,80	0,5
Минусинская ГРЭ, «Красноярскгеология»	Сильнотрещиноватые окварцованные метасоматиты, диориты IX—X категорий по буримости	ТДН-76-УТ	95	0,89	3,1
		ТДН-59-УТ	95	0,91	3,4
		ОКС-76(59)	87	0,90	2,5—3,0
«Бурятгеология»	Трещиноватые ($K_{уд} = 11 \div 30$ шт./м) гранит-порфиры, сланцы, амфиболиты, полиметаллические руды VIII—X категорий по буримости	ТДН-76-УТ	75	0,80—1,30	0,8—2,5
		ТДН-59-УТ	60—70	0,65—1,30	1,2—2,8
		ОКС-76(59)	30—40	0,60—1,70	1,3—1,4
«Дальгеология»	Трещиноватые ($K_{уд} = 11—30$ шт./м) окварцованные туфы андезита, диоритовые порфириты, гранодиорит-порфиры IX—XI категорий по буримости	ТДН-76-УТ	87	0,92	0,8
		ТДН-59-УТ	87	0,92	0,8
		ОКС-76(59)	62	0,92	0,5
«Севкавгеология»	Сильнотрещиноватые ($K_{уд} = 31 \div 50$ шт./м) и трещиноватые ($K_{уд} = 11 \div 30$ шт./м) диориты, гнейсы, брекчиевидные руды VIII—X категорий по буримости	ТДН-76-УТ	80—90	1,0	1,2
		ТДН-59-УТ	80	1,0	1,5
		ТДН-46-УТ	80	0,90—1,10	2,5
		ОКС-76(59, 46)	20—35	1,20—1,30	0,6
Удоканская ГРЭ, «Читагеология»	Сильнотрещиноватые и трещиноватые кварцитовидные и кварц-карбонатные песчаники и кварциты XI—XII и алевролиты и аргиллиты VIII—X категорий по буримости	ТДН-76-УТ	75	0,60—1,00	1,5
		ТДН-59-УТ	73	1,50	1,2
		ОКС-76(59)	38	0,80—1,15	2,2

горно-геологических условий I и II групп классификации пород требуют применения коронок диаметром 76 мм и выше, которые при прочих равных условиях увеличивают выход керна на 10—15% на каждый последующий размер. Применение технических средств диаметром 46 мм, наоборот, снижает выход керна по сравнению с эталонным (59 мм) на 10—15%; эти технические средства следует применять при бурении только в породах III—V групп классификации.

5.4. Выбор и применение алмазных коронок для бурения горных пород различной степени трещиноватости и твердости

Одно из основных условий обеспечения технико-экономической эффективности алмазного бурения скважин в трещиноватых породах — правильный выбор наиболее рационального типа алмазного породоразрушающего инструмента для конкретных групп горных пород. Тщательное изучение работоспособности различных типов алмазных коронок на ряде месторождений страны позволило установить те требования, которым должны отвечать основные конструктивные элементы этих коронок для обеспечения условия эффективной их работы в трещиноватых породах.

Разработанные критерии оценки трещиноватости пород позволили разделить все горные породы по степени их трещиноватости на группы и для каждой такой группы пород рекомендовать определенный комплекс алмазных коронок и колонковых труб. При разделении пород на группы учтены также твердость этих пород, определенная по методу вдавливания штампа, и их буримость.

При выборе породоразрушающего инструмента для горных пород различной степени трещиноватости необходимо учитывать следующее: бурение в монолитных породах целесообразнее и экономически выгоднее осуществлять коронками с толщиной матрицы 6,0—7,0 мм, в слаботрещиноватых породах — 8,0—9,0 мм, в трещиноватых — 10,0—11,0 мм, в сильнотрещиноватых дезинтегрированных породах следует в комплекте с двойными колонковыми трубами применять толстостенные и специализированные коронки с шириной матрицы 10,0—17,0 мм.

Рекомендуемые типы алмазных буровых коронок для бурения пород различной степени трещиноватости и твердости приведены в табл. 5.8.

Как следует из этой таблицы, область применения стандартных алмазных коронок ограничена слаботрещиноватыми породами с показателем трещиноватости 0,51—1,00 и удельной кусковатостью керна 6—10 шт./м. Именно при бурении пород этой группы работа стандартных алмазных коронок наиболее эффективна. Для бурения трещиноватых горных пород с показателем трещиноватости 1,01—2,00 и удельной кусковатостью керна 11—30 шт./м рекомендуется применять группу толстостенных алмазных коронок типа 14А3. Монолитные горные породы с показателем трещи-

Рекомендуемые типы алмазных коронок для бурения горных пород различной степени трещиноватости и твердости

Физико-механическая характеристика горных пород	Группы горных пород по трещиноватости				
	I — монолитные	II — слаботрещиноватые	III — трещиноватые	IV — сильнотрещиноватые	V — весьма и исключительно сильнотрещиноватые
Твердость пород по штампу 200—400 кгс/мм ² , VII—VIII категория пород по буримости	Тонкостенные: 16А3, КАТ АКС, КАТ	Стандартные: 01А3, 01А4, 01А3, 07А3	Толкостенные (или стандартные): 14А3, 10А3 (КДТ-2А,Р), 18А3, КУТВ	Специализированные стандартные: 10А3, 18А3, КУТ	Специализированные толкостенные: КДТО-20, ДЭА
Твердость пород по штампу 400—600 кгс/мм ² , IX—X категория пород по буримости	Тонкостенные: АКС, КАТ, ИКС, КИТ	Стандартные: А4ДП, 01А3, 01А4, 02ИЗГ, 02И4Г, И4ДП	Толкостенные (или стандартные): 14А3, 10А3, 18А3, 02И4Г, И4ДП, КУТ	Специализированные стандартные: 10А3, 18А3, КУТ	Специализированные толкостенные: КДТО-20, ДЭА
Твердость пород по штампу 600—800 кгс/мм ² , XI—XII категория пород по буримости	Тонкостенные: ИКС, КИТ	Стандартные: 02ИЗГ, 02И4, 02И4Г, И4ДП	Толкостенные (или стандартные): 02И4, И4ДП, 02И4Г, 11ИЗ, 19ИЗГ, КУТИ	Специализированные стандартные: 11ИЗ, 19ИЗГ, КУТИ	Специализированные толкостенные: КДТО-150, ОЭИ, ДЭИ

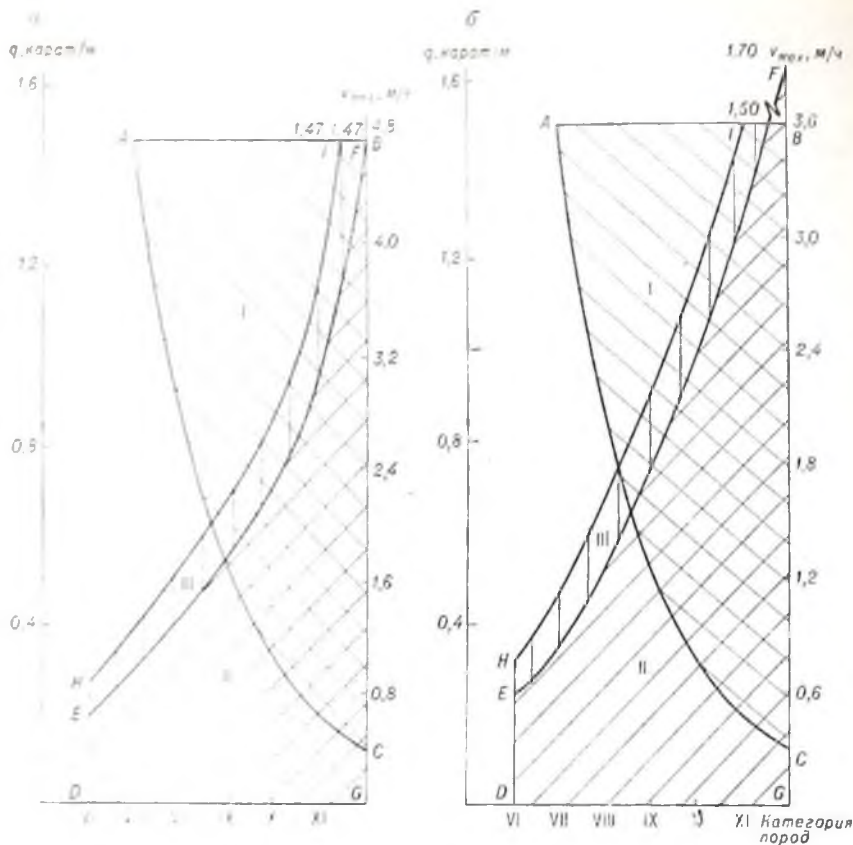


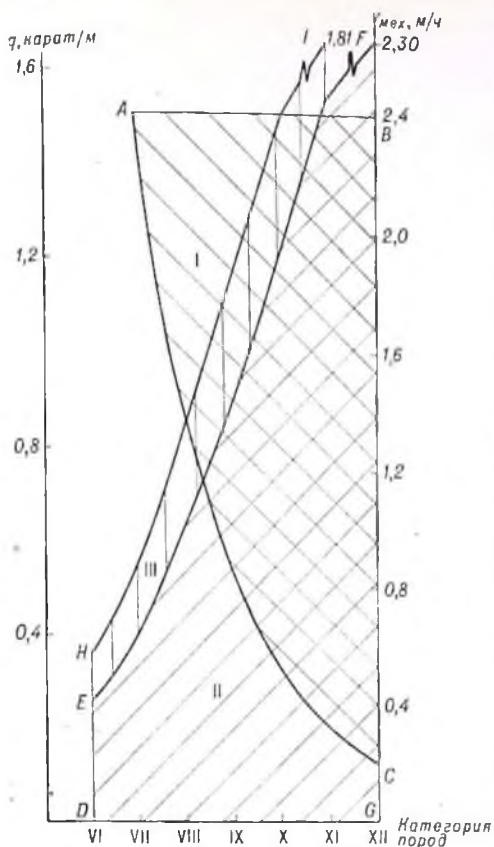
Рис. 5.1. Номограмма нормативных технико-экономических показателей алмазного бурения.

Диаметры коронок, мм: а — 46, б — 59, в — 76.

новатости до 0,50 и удельной кусковатостью зерна 1—5 шт./м рекомендуется бурить тонкостенными алмазными коронками.

Все горные породы с показателем трещиноватости от 0 до 2,0 целесообразнее бурить с применением одинарных колонковых труб: только в отдельных случаях, когда выход зерна оказывается недостаточным, следует применять двойные колонковые снаряды. Все горные породы с показателем трещиноватости от 2,01 до 3,0 и более и удельной кусковатостью зерна свыше 30 шт./м следует проходить только с применением двойных колонковых труб и специализированных алмазных коронок со стандартной или утолщенной матрицей.

На практике для оперативного выбора рациональных типов алмазных коронок удобно пользоваться графическим способом определения оптимальных областей применения конкретных типов алмазного породоразрушающего инструмента, где за критерий эффективности приняты удельный расход алмазов и механическая



скорость бурения v_m [46]. При оценке эффективности применения алмазных коронок с использованием графического метода рекомендуется пользоваться номограммой нормативных технико-экономических показателей алмазного бурения (рис. 5.1, а, б, в). На оси абсцисс номограммы приведена шкала категорий пород по буримости. На оси ординат построены значения удельного расхода алмазов (слева) и значения нормативной механической скорости (справа). Зоны номограммы отражают:

I (ABC) — значения оптимальных механических скоростей, которые при бурении в различных геологических комплексах пород выше нормативных;

II (DEFG) — оптимальные значения удельного расхода алмазов при бурении монолитных однородных пород;

III (EHIF) — увеличение нормативного расхода

алмазов при бурении сильнотрещиноватых перемежающихся по твердости пород различных категорий по буримости.

Таким образом, зоны рис. 5.1 являются базой для сравнения показателей отработки конкретного типа алмазных коронок диаметров 46, 59 и 76 мм.

Эффективность применения конкретного типа алмазных коронок при графическом способе определения рекомендуется оценивать в следующем порядке:

- учет в сводной ведомости отработки технико-экономических показателей работоспособности коронок одного типоразмера, отработанных в идентичных условиях;

- определение методом среднего арифметического средних механической скорости и расхода алмазов для данной группы коронок;

- на оси абсцисс номограммы для соответствующего диаметра строится перпендикуляр, соответствующий конкретной категории пород;

— из перпендикуляр с левой стороны выносятся рассчитанная средняя расход алмазюв, с правой — рассчитанная средняя механическая скорость, и соотносятся вынесенные значения с обозначенными зонами оптимальности. При этом возможны три варианта комбинации данных:

1) механическая скорость и удельный расход алмазюв находятся соответственно в зонах I и II (или III) в зависимости от степени трещиноватости пород (в этом случае алмазная коронка оптимальна по двум показателям);

2) механическая скорость находится в зоне I, удельный расход алмазюв — вне зоны оптимальности (коронка оптимальна по механической скорости и может быть рекомендована к применению в данных геологических условиях для получения высокой производительности бурения и умеренному расходу алмазюв; рациональность применения коронки должна быть подтверждена экономическим расчетом);

3) удельный расход алмазюв находится соответственно в зоне II (или III) в зависимости от степени трещиноватости пород, значение механической скорости — вне зоны оптимальности (алмазная коронка оптимальна по удельному расходу алмазюв и может быть рекомендована к применению с учетом снижения удельного расхода алмазюв; подтверждение экономическим расчетом рациональности применения данного типа коронки — обязательно).

Пример работы с номограммой по определению рационального применения алмазных коронки ИДП-59 в заданных условиях:

— порода — гранодиорит X категории по буримости, сильно трещиноватая;

— алмазная коронка ИДП диаметром 59 мм;

— механическая скорость 1,15 м/ч;

— удельный расход алмазюв 1,22 карат/м.

Схема определения. На оси абсцисс (см. рис. 5.1,б) откладываем перпендикуляр от отметки X категории. На перпендикуляре выносятся значения $v_m = 1,15$ м/ч и $q = 1,22$ карат/м.

Выход: $v_m = 1,15$ м/ч попадает в I зону оптимальности по механической скорости, $q = 1,22$ карат/м — в III зону (зона увеличения расхода алмазюв в сильно трещиноватых породах, что соответствует заданным условиям); следовательно, алмазная коронка ИДП-59 оптимальна по двум показателям и рекомендуется к применению в указанных геологических условиях.

5.5. Ликвидация поглощений промывочной жидкости

При бурении в трещиноватых разрушенных горных породах часто возникают осложнения, связанные с поглощением промывочной жидкости или обвалами стенок скважины. Они существенно затрудняют конструкцию скважины и затрудняют применение высоких частот вращения штифта. В зависимости от характера осложнения и степени и его проявления могут быть использованы

различные средства борьбы с ними. При этом необходимо учитывать, что большая часть имеющихся средств и способов разработана для условий, когда диаметр бурения превышает 76 мм. Задача эффективной ликвидации поглощений в скважинах, которые бурятся алмазными коронками диаметром 76 мм и меньше, сложнее в техническом отношении, поскольку возможность использования специальных средств в этом случае уменьшается. Следует также отметить, что с уменьшением диаметра скважины вероятность проявления обвалов и суммарная площадь раскрытия трещин в интервалах поглощений уменьшается. Однако физическая сущность происходящих явлений при этом не изменяется.

Поглощения промывочной жидкости при бурении скважин бывают различными в зависимости от характера зоны поглощения: степени трещиноватости горных пород, мощности зоны разломов, карстов и т. д. или при встрече ранее пройденных горных выработок. Иногда поглощения бывают настолько интенсивными, что на их ликвидацию затрачивается 10—40% от общего времени бурения скважины.

При выборе способов борьбы с поглощениями необходимо учитывать, что в поглощающей зоне и скважине наблюдается определенное соотношение гидравлических давлений и сопротивлений, которые можно упрощенно выразить следующим неравенством:

$$P_{пл} + P_{г.с.п} < P_{г.д} + P_{г.с}, \quad (5.16)$$

где $P_{пл}$ — пластовое давление в поглощающем горизонте; $P_{г.с.п}$ и $P_{г.с}$ — гидравлическое сопротивление в поглощающем пласте и кольцевом пространстве; $P_{г.д}$ — гидростатическое давление столба промывочной жидкости.

Чтобы установить причины и характер поглощения, необходимо знать глубину и мощность поглощающего горизонта, статический и динамический уровни воды в скважине, количество поглощаемой жидкости в единицу времени, размер водопритоков из обводненных горизонтов, характер трещиноватости пород, а также иметь кавернограмму интервалов поглощения.

Степень поглощения может быть также охарактеризована коэффициентом поглощающей способности K , который определяют по следующей формуле:

$$K = Q \sqrt{H}, \quad (5.17)$$

где Q — количество поглощаемой жидкости; H — перепад давления на поглощающий пласт, т. е. разность динамического и статического уровней промывочной жидкости.

Коэффициент K зависит также от мощности и угла падения трещины. При малых мощности и угле падения трещины $K=1 \div 2$, при больших трещинах и значительных углах их падения $K=2,5 \div 4,0$. Если степень поглощения K не превышает 2, то целесообразно использовать структурные промывочные жидкости, а

при больших значениях можно применять тампонажные смеси или другие средства.

При выборе способа ликвидации поглощения раствора прежде всего необходимо оценить степень этого поглощения по существующей классификации (частичное, среднее или полное). Характер поглощения определяется по приведенному выше неравенству и зависит от глубины поглощающего горизонта, статического и динамического уровней воды в скважине, количества поглощаемой жидкости, водонитока, характера трещиноватости пород. Если степень неравенства не превышает 2% от производительности используемого насоса (частичное поглощение), то рекомендуется применять глинистый раствор. Возможность изменения структурно-механических свойств глинистого раствора в широких пределах позволяет в этом случае добиться положительных результатов. Поскольку изолирование поглощающих интервалов пород происходит благодаря тиксотропным свойствам (загустеванию) глинистого раствора, следует улучшать именно эти свойства. Вязкость раствора предпочтительнее повышать за счет химической обработки раствора химреагентами (УЩР, УЩП, ТЩР и др.) без увеличения его плотности. Причем важно не допускать повышения водоотдачи раствора во избежание обрушения стенок скважины. Глинистый раствор, проникая в поры и трещины пород, загустевает и закупоривает их. При этом образуется дополнительная корка на стенках скважины с достаточно большим статическим напряжением сдвига, действующим по всей площади соприкосновения глинистого раствора с породой. Повышение вязкости раствора и образование глинистой корки на стенках скважины ухудшают условия алмазного бурения, так как незначительные зазоры между торцом матрицы алмазной коронки и забоем, а также поверхностью бурильной колонны и стенками скважины требуют более текучих и легких промывочных растворов.

Одним из путей решения данной проблемы является аэрирование глинистых растворов (до вязкости 13—18 с) пенообразователями или пропусканьем их через эжекторные устройства. При значительном снижении плотности промывочной жидкости перепад давления между каналами поглощения, трещинами и скважиной в этом случае уменьшается.

Существуют два способа получения аэрированных жидкостей: химический и механический.

При первом способе глинистый раствор обычно обрабатывают различными пенообразователями (кератиновый клей с жидким стеклом, ДС, ПОРК, ПО-1, ПО-К-18, азолят-А, смачиватель НБ, ОП-7, ОП-10, «Прогресс», азолят-Б и др.). Химически обработанные глинистые растворы стабильны, обладают хорошей очистной и несущей способностью. При аэрации глинистых растворов наблюдается повышение вязкости и снижение водоотдачи, что также способствует предотвращению поглощений в процессе бурения.

При втором способе в основном смешивают воду с воздухом в специальных смесительных устройствах, располагаемых недалеко

от устья скважины или входящих в состав бурового снаряда. Можно также вводить сжатый воздух в нагнетательную линию путем подсоединения к ней компрессора.

Возрастающая в процессе аэрации вязкость растворов приводит к снижению их водоотдачи и плотности. Например, введение в глинистый раствор 0,02—0,03% пенообразователей ПО-1, ПО-К-18 вызывает снижение его плотности с 1,1 до 0,8—0,9 г/см³ и при дальнейшем увеличении концентрации — до 0,2—0,3 г/см³.

Практический опыт показывает, что средние и полные поглощения промывочной жидкости имеют место при бурении сильно трещиноватых, кавернозных пород (с крупными зияющими трещинами, кавернами, интенсивной трещиноватостью) или при встрече водоносных горизонтов со значительными перепадами давления. Для ликвидации средних и полных поглощений можно использовать материалы на основе тампонажных или быстротвердеющих цементов, а также смол с различными отвердителями. Использование глины и битумов при алмазном бурении менее эффективно. Обычная цементация зоны осложнения в настоящее время применяется редко, так как она трудно осуществима из-за наличия в пластовых водах ионов серы и ее соединений.

Наиболее часто для ликвидации поглощений при алмазном бурении применяют быстрохватывающиеся смеси (БСС) на основе цемента с добавлением химических веществ, способных затвердевать в водной среде в ограниченные сроки. К числу быстрохватывающихся можно отнести смеси цемента с известью, жидким стеклом, хлористым кальцием, щелочью (едким натром), а также с хлористым кальцием и жидким стеклом одновременно. Указанные химические вещества ускоряют затвердевание цемента, и их количественное соотношение (как правило, 2—6% от массы цемента) определяется маркой цемента и его активностью. В зависимости от таких показателей, как водоцементный фактор, температура среды и химического реагента, можно регулировать начало и окончание схватывания БСС.

Основными параметрами БСС являются растекаемость, сроки схватывания, прокачиваемость, прочность камня. На основании имеющихся данных о характере трещиноватости пород, глубине скважины и поглощающего горизонта, о статическом и динамическом уровнях следует подбирать основные параметры БСС.

Растекаемость БСС является одним из основных показателей ее тампонирующих свойств и измеряется по конусу АзНИИ. Наиболее приемлемые границы растекаемости для ликвидации средних и катастрофических поглощений обычно находятся в пределах 12—16 см. Чем больше поглощение, тем меньше должна быть растекаемость БСС. Сроки схватывания, определяемые иголкой ВИК, должны быть также наименьшими. Удовлетворительная прокачиваемость смеси и высокая прочность затвердевшего материала во всех случаях способствуют достижению положительных результатов при ликвидации поглощений.

Наряду с БСС на основе цементов различных марок для лик-

видации поглощений все чаще находят применение смеси на основе синтетических смол и других высокомолекулярных соединений. Их отличительными особенностями являются высокая проникаемость в трещины, возможность изменения в широком диапазоне сроков начала и конца схватывания, низкая размываемость, высокая прочность затвердевшего материала. Наиболее доступным и сравнительно недорогим материалом для приготовления таких смесей является мочевино-формальдегидная смола МФ-17. Отвердителями смолы служат соляная или щавелевая кислоты.

Накоплен опыт использования смеси на основе раствора акриламида [47], который способен полимеризоваться и образовывать полимер — полиакриламид, почти не растворимый в воде. Процесс полимеризации раствора акриламида после введения реактивов-инициаторов заканчивается через несколько минут. При этом наилучшие результаты получаются при полимеризации 25%-ного раствора акриламида с добавками 0,5% персульфата калия ($K_2S_2O_8$) и 0,14% гидросульфата натрия ($Na_2S_2O_4$) от массы акриламида. Достаточно эффективны также полимерцементные смеси на основе триэтанолamina, суммарных сланцевых фенолов, пароформа. Рекомендуемые рецептуры быстротвердеющих полимерцементных смесей приведены в табл. 5.9 [47], по которой в соответствии со степенью трещиноватости пород в зоне осложнения выбирают рецептуру быстротвердеющей смеси, а по коэффициенту поглощающей способности K — объем тампонирующей смеси.

Количествоготавливаемой тампонирующей смеси любого состава следует рассчитывать из необходимости заполнения каверн, трещин и части объема скважины, т. е. $Q = KV_{\text{св}}$, где $K = 2,5 \div 4,0$ (в зависимости от характера трещиноватости пород), $V_{\text{св}}$ — объем интервала скважины в зоне осложнения. По выбранным рецептуре и объему тампонирующей смеси определяют необходимое количество исходных материалов: цемента, воды, сланцевых полимеров и ускорителей схватывания.

В зону поглощения БСС доставляется заливкой через устье (при бурении мелких вертикальных скважин), закачиванием насосом через колонну буровых труб и с помощью специальных снарядов. В первом случае смесь сильно разубоживается в воде, и значительная часть ее задерживается на стенках скважины.

Для доставки БСС в интервал осложнения имеются снаряды типа ТУ-3, ТУ-4, конструкции СКБ, СТ-3 и др. Эти снаряды обеспечивают смешивание цементного раствора и раствора реагента-ускорителя (известки, кальцинированной соды и др.) непосредственно в интервале установки тампона. Для размещения нужного количества ускорителя контейнер тампонирующего устройства выполняется составным (многосекционным). Длина одной секции 1,5 м. Однако эти снаряды имеют значительный диаметр — 92 и 132 мм.

Для тампонирования скважины диаметром 76 мм рекомендуется использовать снаряд конструкции ВИТР, который состоит из скважинного смесителя эжекторного типа ССЭ-73 и пакера

Таблица 5.9
Рецептуры быстротвердеющих полимерцементных смесей

В : Ц (по массе) отношение	Состав смесей, %										Механическая прочность отсроченных смесей на сжатие $\sigma_{сж}$, кг/см ²			Область применения
	NaOH	ФР-12	Суммарные фенолы	ФРС	ТСД-9	ТЭА (триэтанолламин)	Формалин	Сроки схватывания смесей, мин		Механическая прочность отсроченных смесей на сжатие $\sigma_{сж}$, кг/см ²				
								начало	конец	через 1 ч	через 2 ч	через 21 ч		
0,5	3	—	—	—	—	0,35	—	10	30	7	20	38	Зоны пород со средней и сильной трещиноватостью — раскрытость трещин (каверн) до 5—10 мм Зоны с очень сильной трещиноватостью — раскрытость трещин (каверн) до 20 мм Зоны с весьма сильной трещиноватостью — раскрытость трещин (каверн) более 20 мм Зоны со средней и сильной трещиноватостью — раскрытость трещин (каверн) до 5—10 мм Зоны с очень сильной трещиноватостью — раскрытость трещин (каверн) до 20 мм	
0,5	2	—	—	—	—	—	—	1	3	60	70	120		
0,5	2	—	15	—	—	—	60	5	10	—	—	—		
0,5	2	—	—	—	—	—	60	4	7	53	56	78		
0,5	2	—	20	—	—	—	70	2	5	50	65	100		
0,5	2	—	20	—	—	—	50	3	7	—	—	—		
0,5	2	—	—	—	—	—	60	2	4	30	38	55		
0,5	2	—	—	—	—	—	50	3	7	—	—	—		
0,5	2	—	—	—	—	—	60	1	3	36	45	86		
0,5	2	—	—	—	—	—	50	7	11	2	—	—		
0,25	2	—	—	—	—	—	70	5	10	9	12	20		
0,25	2	—	—	—	—	—	60	4	8	—	—	—		
0,25	2	—	—	—	—	—	70	2	4	15	18	24		

типа ПМ-73. Сочетание в составе тампонирующего снаряда смесителя и пакера позволяет дистанционно включать дозатор и создавать высокий (до 100 кгс/см²) перепад давления в подпакерной зоне, что имеет важное значение при задавливании тампонирующей смеси в зону осложнения и в дальнейшем дает возможность избежать разбухания цементного камня в стволе скважины. При отсутствии необходимых снарядов смесь нагнетают через буровую колонну.

При бурении в трещиноватых горных породах, в которых проходят частые вывалы породы в скважину и поглощения промывочной жидкости, закрепление стенок ствола или отдельных его интервалов может быть также осуществлено и традиционными методами, например с помощью различных вяжущих материалов и составленных из них композиционных смесей, наиболее употребительными из которых являются высокодействующие портландцементы, а также с помощью обсадных труб и другими способами.

В последнее время очень широкое распространение получил также разработанный в ПГО «Севзапгеология» способ ликвидации поглощений промывочной жидкости при бурении в сложных геологических условиях с помощью так называемого «сухого» тампонирующего устройства. Суть способа заключается в следующем. В зону тампонирующего устройства в сухом виде в специальных водонепроницаемых тампонах (ампулах) доставляют сухие активированные быстрохватывающиеся смеси. Затем с помощью специального тампонирующего устройства, разработанного Н. К. Липатовым и Г. В. Пагрушевым, ампулы с сухими БСС перерабатываются непосредственно в том интервале скважины, где возникло поглощение жидкости.

Принцип работы и конструкция тампонирующего устройства для изоляции зон поглощения промывочной жидкости хорошо описаны в работе Н. К. Липатова, В. Ф. Жабрева и И. С. Афанасьева [48].

Доставленные в зону осложнения тампоны с БСС разбураивают долотом с одновременным растворением с отвердителем. Затем полученную таким образом смесь задавливают с помощью тампонирующего устройства в трещины стенок скважины. Под массой тампонирующего устройства каналы поглощения промывочной жидкости закупориваются. Одновременно осуществляется калибровка ствола скважины и на стенках скважины образуется водонепроницаемая оболочка.

В случае, если поглощение промывочной жидкости полностью не ликвидировано, в зону осложнения доставляют новую порцию БСС в тампонах, и операция повторяется.

Способ сухого тампонирующего устройства позволяет применять БСС с минимальными, до 1—2 мин, сроками схватывания и твердения, варьировать состав смесей, подбирая различные вяжущие вещества и добавки и регулируя тем самым свойства смеси и образующегося камня.

Обобщение и анализ имеющегося отечественного и зарубежного опыта алмазного бурения геологоразведочных скважин в трещиноватых породах, а также специальные экспериментальные и производственные исследования различных закономерностей бурения в нарушенных, дезинтегрированных твердых породах позволили дифференцировать все породы по степени трещиноватости и выработать рекомендации по рациональному использованию технических средств и технологии алмазного бурения разведочных скважин в породах различной степени трещиноватости. В результате проведенных исследований изучены закономерности износа алмазных коронок в зависимости от условий их применения и на этой основе составлена классификация видов износа алмазных коронок; разработаны критерии оценки степени трещиноватости пород, обеспечившие возможность объективного и обоснованного сопоставления основных показателей алмазного бурения в породах различной трещиноватости; составлена классификация пород по трещиноватости применительно к алмазному бурению, позволяющая типизировать горно-геологические условия и на этой основе осуществлять выбор коронок рациональных типов, прогнозировать разработку новых алмазных коронок и устанавливать оптимальные режимы бурения для пород различной степени трещиноватости; уточнены требования к параметрам алмазных коронок, предназначенных для бурения в трещиноватых породах, и установлена целесообразность дифференциации алмазных коронок по толщине матрицы в зависимости от степени трещиноватости разбуриваемых пород; разработаны предложения по конструированию алмазных коронок новых типов для бурения пород различной степени трещиноватости.

С помощью критериев оценки трещиноватости разработана принципиально новая классификация горных пород по трудности отбора керна, позволявшая:

— объективно, по количественным характеристикам, оценить горные породы по трудности получения керна при геологоразведочном бурении;

— обоснованно и дифференцированно выбирать комплекс технических средств и технологии бурения в каждом конкретном комплексе горных пород для получения кондиционного выхода керна.

Разработка критериев количественной оценки степени трещиноватости горных пород позволила дифференцированно подойти к составлению производственных норм расхода алмазов для бурения геологоразведочных скважин. В целом использование результатов проведенных исследований и полученных на их основе рекомендаций значительно повысит эффективность алмазного бурения скважин в трещиноватых горных породах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Козловский Е. А., Шимаков В. Т.* Оценка экономической эффективности различных способов бурения — В кн.: Техника и технология геологоразведочных работ, организации производства. М., ВИАМС, 1972, с. 1—20.
2. *Саваренский Ф. П.* Инженерная геология. 2-е изд. М.—Л., ГОНТИ, 1939. 576 с.
3. *Ломтадзе В. Д.* Инженерная геология. Инженерная петрология. Л., Недра, 1970. 526 с.
4. *Косыгин Ю. А.* Тектоника. М., Недра, 1969. 616 с.
5. *Ломизе Г. М.* Фильтрация в трещиноватых породах. М.—Л., Госэнергоиздат, 1951. 289 с.
6. *Нейштадт Л. П., Пирогов Н. А.* Методы инженерно-геологического изучения трещиноватых горных пород. М., Энергия, 1969. 248 с.
7. *Козловский Е. А., Михин В. Н.* Технология алмазного бурения на месторождениях КМА с применением аппаратуры ГП-18А — В кн.: Техника и технология геологоразведочных работ, организация производства. М., ВИАМС, 1972. 32 с.
8. *Козловский Е. А.* Оптимизация процесса разведочного бурения. М., Недра, 1975. 304 с.
9. *Волков С. А., Козловский Е. А., Алимбеков Б. Д.* Трещиноватость пород и ее влияние на технико-экономическую эффективность алмазного бурения — В кн.: Техника и технология геологоразведочных работ, организация производства. М., ВИАМС, 1970, вып. 114. 12 с.
10. *Пономарев П. П., Прутудя Э. К.* Влияние трещиноватости горных пород на работоспособность алмазных коронок и выход керна. — В кн.: Методика и техника разведки. Л., ОНТИ ВНИР, 1976, № 107, с. 42—47.
11. *Алмазное бурение скважин в трещиноватых горных породах (методические рекомендации) / П. П. Пономарев, В. А. Каулин, И. М. Гинзбург, В. Н. Сешиков, Л., ВНИР, 1974, вып. 189. 48 с.*
12. *Пономарев П. П.* Выбор и применение инструмента для бурения горных пород различной степени трещиноватости. — В кн.: Методика и техника разведки. Л., ОНТИ ВНИР, 1978, № 122, с. 24—32.
13. *Пономарев П. П.* Техника и технология алмазного бурения скважин в трещиноватых породах. — В кн.: Техника и технология геологоразведочных работ, организация производства. М., ВИАМС, 1978. 57 с.
14. *Пономарев П. П., Чайко Я. М.* Использование низкосортных алмазов при бурении — Разведка и охрана недр, 1967, № 4, с. 22—29.
15. *Иванов О. В., Пономарев П. П.* О рациональной насыщенности импрегнированных коронок объемными алмазами. — В кн.: Методика и техника разведки. Л., ОНТИ ВНИР, 1972, № 78, с. 10—16.
16. *Породоразрушающий инструмент для алмазного бурения / Г. А. Блинов, А. Л. Николаев, Ю. А. Оношко и др. Л., Недра, 1969. 130 с. (Библиотека мастера алмазного бурения).*
17. *Блинов Г. А., Пономарев П. П.* Новые алмазные коронки для бурения трещиноватых пород — Разведка и охрана недр, 1973, № 3, с. 32—35.
18. *Гинзбург И. М., Пономарев П. П.* О влиянии трещиноватости горных пород на их буримость алмазными коронками. В кн.: Методика и техника разведки. Л., ОНТИ ВНИР, 1973, № 88, с. 33—38.
19. *Пономарев П. П., Блинов Г. А., Николаев А. Л.* Новые конструкции породоразрушающего алмазного инструмента. — В кн.: Опыт алмазного бурения скважин и организациях Министерства геологии СССР (материалы по научно-технической пропаганде в геологии). М., ВИАМС, 1970, с. 3—16.

20. Пономарев П. П., Оношко Ю. А. Новые алмазные коронки для бурения плотных горных пород. — В кн.: Методика и техника разведки. Л., ОНТИ ВИТР, 1977, № 114, с. 44—50.
21. Справочник по алмазному бурению геологоразведочных скважин / Г. А. Блинов, В. И. Васильев, М. И. Исаев и др. Л., Недра, 1975. 296 с.
22. Владиславлев В. С. Разрушение пород при бурении скважин. М., Гостоптехиздат, 1958. 242 с.
23. Гончаров А. Е., Моисеев В. С., Пономарев П. П. Алмазное бурение геологоразведочных скважин в Кривбассе. — В кн.: Методика и техника разведки. Л., ОНТИ ВИТР, 1973, № 88, с. 17—26.
24. Сулакищ С. С. Технология бурения геологоразведочных скважин. М., Недра, 1973. 320 с.
25. Аварийный буровой инструмент (руководство по эксплуатации) / Н. Н. Бухарев, Б. Г. Даев, П. П. Пономарев и др. Л., ОНТИ ВИТР, 1973, вып. 169. 26 с.
26. Специализированные двойные колонковые трубы ТДН-76-0 и ТДН-76-4 (руководство по эксплуатации) / Н. Н. Бухарев, Б. Г. Даев, П. П. Пономарев и др. Л., ОНТИ ВИТР, 1972, вып. 164. 24 с.
27. Экспериментальные исследования процесса разрушения керна при его самозаклинивании в колонковом снаряде. Васильев В. В., Каулин В. А., Пономарев П. П. — В кн.: Методика и техника разведки. Л., ОНТИ ВИТР, 1980, № 133, с. 14—19.
28. Каулин В. А., Пономарев П. П., Петрова Г. В. Основные принципы классификации горных пород по трудности отбора керна — В кн.: Исследование и разработка технологии алмазного бурения геологоразведочных скважин. М., ВПО Союзгеотехника, 1982, с. 5—11.
29. Инструктивные указания по отбору керна при вращательном колонковом бурении геологоразведочных скважин / В. А. Каулин, П. П. Пономарев, В. В. Васильев, М. А. Денисов. Л., ВИТР, 1982. 36 с.
30. Буллаев И. Б. Техника и технология отбора проб при разведочном бурении. — М., Недра, 1974. 184 с.
31. Гребенюк А. А. Техника и технология получения керна. М., Недра, 1973. 144 с.
32. Кизгарманов И. Ф., Байков Р. А., Баландин П. С. Классификация пород по трудности отбора керна. — Тр. БашНИПИнефть, 1974, вып. 36, с. 75—80.
33. Пономарев П. П. Исследование и разработка алмазных коронок и технологии бурения ими разведочных скважин в трещиноватых породах. Автореф. дис. Л., ВИТР, 1977. 25 с.
34. Нечаев Н. Д. Анализ выхода керна при бурении восстающих и нисходящих скважин. — Изв. вузов. Геология и разведка, 1975, № 7, с. 185—186.
35. Инструктивные указания по алмазному бурению геологоразведочных скважин на твердые полезные ископаемые / В. И. Васильев, Г. А. Блинов, П. П. Пономарев и др. Л., ВИТР, 1983. 216 с.
36. Пономарев П. П., Оношко Ю. А., Бухарев Н. Н. Инструмент для алмазного бурения геологоразведочных скважин (конструкция и технология применения). Л., Недра, 1981. 137 с.
37. Каулин В. А., Пономарев П. П., Васильев В. В., Петрова Г. В. Основы выбора технических средств для отбора керна при колонковом геологоразведочном бурении. — В кн.: Техника и технология геологоразведочных работ, организация производства. М., ВНИЭМС, 1983. 53 с.
38. Курочкин П. Н. О динамике работы алмазов в буровых коронках и долотах. — Изв. вузов. Геология и разведка, 1974, № 11, с. 144—151.
39. Исаев М. И., Пономарев П. В. Основы прогрессивной технологии алмазного бурения геологоразведочных скважин. М., Недра, 1975. 287 с.
40. Ступкина Л. М. Влияние полирования поверхности алмазов на их прочность при одноосном сжатии — Методика и техника разведки. Л., ОНТИ ВИТР, 1975, № 96, с. 5—8.
41. Ступкина Л. М. Исследование прочности алмаза при воздействии ударных нагрузок. — В кн.: Кристаллография. М., Наука, 1970, т. 15, № 4, с. 841—844.

42. Marx C. Diamond bits and their use in shallow holes. "Christensen Diamond Products Co". 1970.
43. Marx C. Investigation of rock drilling with diamond bits. Doctorate thesis Faculty for Mining, Metallurgy and Mechanical engineering of the Technical University of Claustal. 1973. 165 p.
44. Hughes M. D. Efficient penetration in diamond drilling. *Mindrill, Bits and Pieces*, 1967, vol. 19, No. 6.
45. Васильев В. В., Каулин В. А. Критерии выбора технических средств отбора керна при геологоразведочном бурении — В кн.: Исследование и разработка технологии алмазного бурения геологоразведочных скважин. М., ВПО Союзгеотехника, 1982, с. 36—39.
46. Методические рекомендации по технологии алмазного бурения геологоразведочных скважин на месторождениях Центральных Кызылкумов / В. А. Каненельсон, В. А. Каулин, П. П. Пономарев и др. Л., ВИТР, 1982. 72 с.
47. Руденко А. П. Бурение скважин в сложных геологических условиях (методические рекомендации по ликвидации поглощений промывочной жидкостью). Л., ОНТИ ВИТР, 1975. 26 с.
48. Липатов Н. К., Жабров В. Ф., Афанасьев И. С. Сухое тампонирующее скважин — Разведка и охрана недр, 1982, № 7, с. 57—60.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. ТРЕЩИНОВАТОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД	5
1.1. Основные понятия и определения	—
1.2. Природа образования трещин и их классификации	—
1.3. Методы и критерии оценки трещиноватости горных пород	11
1.4. Объемы алмазного бурения в трещиноватых породах	19
Глава 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА АЛМАЗНОГО БУРЕНИЯ В ТРЕЩИНОВАТЫХ ПОРОДАХ	20
2.1. Факторы, влияющие на процесс алмазного бурения в трещиноватых породах	—
2.2. Особенности и закономерности износа алмазных коронок в трещиноватых породах	22
2.3. Сравнительная оценка работоспособности алмазных коронок отечественного и зарубежного производства	34
2.4. Влияние основных параметров алмазных коронок на их работоспособность	38
2.5. Влияние трещиноватости горных пород на выход керна	57
2.6. Влияние основных режимных параметров на процесс алмазного бурения в трещиноватых породах	69
2.7. Основные принципы конструирования алмазных коронок для бурения пород различной степени трещиноватости	73
Глава 3. РАЗРАБОТКА КЛАССИФИКАЦИИ ГОРНЫХ ПОРОД ПО ТРУДНОСТИ ОТБОРА КЕРНА	77
3.1. Обоснование доминантного признака классификации пород по трудности отбора керна	—
3.2. Эталонная схема классификации пород по трудности отбора керна	79
3.3. Классификация горных пород по трудности отбора керна	85
Глава 4. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН В ТРЕЩИНОВАТЫХ ПОРОДАХ	88
4.1. Алмазный породоразрушающий инструмент	—
4.2. Технические средства для отбора керна	89
Глава 5. ТЕХНОЛОГИЯ АЛМАЗНОГО БУРЕНИЯ СКВАЖИН В ТРЕЩИНОВАТЫХ ПОРОДАХ	106
5.1. Особенности разрушения трещиноватых горных пород при алмазном бурении	—
5.2. Разработка и выбор оптимальных технологических режимов бурения скважин в трещиноватых породах	109
5.3. Выбор технических средств для отбора керна	115
5.3.1. Геолого-технические критерии выбора технических средств для отбора керна	—
5.3.2. Общие рекомендации по обеспечению кондиционного выхода керна в различных группах горных пород	119
5.4. Выбор и применение алмазных коронок для бурения горных пород различной степени трещиноватости и твердости	130
5.5. Ликвидация поглощений промышленной жидкости	134
Заключение	141
Список литературы	142

55 коп.

5

1944