

П. П. ПОНОМАРЕВ, В. А. КАУЛИН

ОТБОР КЕРНА

ПРИ КОЛОНКОВОМ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОМ БУРЕНИИ



Ленинград
«Недра»
Ленинградское отделение
1989

ББК 33.131
П56
УДК 622.243.572.051.7

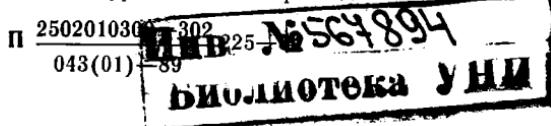
Рецензент — горный инженер В. Н. Лебедев
(ПГО «Севзапгеология»)

Пономарев П. П., Каулин В. А.

П56 Отбор керна при колонковом геологоразведочном бурении.— Л.: Недра, 1989.— 256 с.: ил.
ISBN 5—247—00447—7

Впервые комплексно освещены вопросы отбора керна при колонковом геологоразведочном бурении. Приведены разработанные на основе выполненных в ВИТР теоретических и экспериментальных исследований модель износа керна при колонковом бурении и новая классификация горных пород по трудности его отбора. Рассмотрены специфические особенности износа керна в керноприемниках двойных колонковых снарядов. Изложены отдельные аспекты теории процесса кернообразования и приведены впервые разработанные схемы классификации керновых проб по представительности геологической информации.

Для инженерно-технических работников, занимающихся бурением геологоразведочных скважин



ББК 33.131

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ИЗДАНИЕ

ПОНОМАРЕВ ПАВЕЛ ПАВЛОВИЧ
КАУЛИН ВЛАДИМИР АНАТОЛЬЕВИЧ
**ОТБОР КЕРНА ПРИ КОЛОНКОВОМ
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОМ БУРЕНИИ**

Редактор издательства Л. А. Кобылко
Переплет художника А. Н. Бородина
Технический редактор С. А. Кодаш
Корректоры О. Г. Попова, Е. А. Стерлина

ИБ № 6595

Сдано в набор 08.06.88. Подписано в печать 30.09.88. М-41281. Формат 60×90^{1/16}. Бумага тип. № 1. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. п. л. 16,00. Усл. кр.-отт. 16,00. Уч.-изд. л. 16,32. Тираж 3350 экз. Заказ 1353/726. Цена 1 р. 20 к.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра». Ленинградское отделение.
193171, Ленинград, С-171, ул. Фарфоровская, 18.

Ленинградская типография № 4 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгения Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. 191126, Ленинград, Социалистическая ул., 14

ISBN 5—247—00447—7

© Издательство «Недра», 1989

ПРЕДИСЛОВИЕ

В связи с общим увеличением объемов колонкового бурения и с возрастанием глубин разведуемых месторождений особенно актуальным становится вопрос обеспечения качества обработки геологоразведочных скважин.

Нередко при проведении буровых работ, обращая в первую очередь внимание на достижение высоких скоростей бурения, т. е. на количественную сторону процесса, упускают из вида, что конечная цель этих работ — получение достаточного количества керна высокого качества, обеспечивающего необходимую геологическую информативность бурения.

Следует заметить, что основным критерием представительности керна является его высокий линейный, весовой 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. При бурении на больших глубинах, а также в сложных геологических условиях отбор качественного керна представляет значительные трудности.

Низкий же выход и неудовлетворительное качество керна значительно снижают эффективность бурения, вызывают необходимость проведения дополнительных работ по доразведке месторождений. Поэтому получение представительного керна как основного фактического материала для изучения строения и условий залегания полезных ископаемых, определения их вещественного состава и физико-механических свойств является одной из важных и наиболее трудных задач геологоразведочного бурения.

В ближайшее время сохранятся традиционные способы бурения и вопрос получения кондиционного керна будет по-прежнему иметь главное значение. В работе рассмотрен принципиально новый подход к оценке качества керна.

Выполненные в 1980—1986 гг. в ВИТР теоретические, производственные и экспериментальные исследования позволили осуществить комплексный подход к процессу кернообразования и с его помощью разработать модель процесса формирования и дальнейшей сохранности керна. Разработана принципиально новая классификация горных пород, основанная на количественной оценке горных пород по трудности отбора керна.

В настоящей работе на базе разработанной модели процесса формирования и получения керна и с учетом новой классификации по трудности его отбора даны практические рекомендации по повышению качества геологоразведочного бурения, по необходимым конструктивным параметрам колонковых снарядов, по областям их применения и технологическим режимам бурения.

Авторы смеют надеяться, что предлагаемая книга окажет определенную помощь работникам производственных и научно-исследовательских организаций, занятых проблемой получения кондиционного выхода керна высокого качества при геологоразведочном бурении.

Авторы признательны доктору технических наук А. В. Марамзину за методическую помощь и В. В. Васильеву, принимавшему участие в написании раздела «Исследовательские стенды для изучения процесса кернообразования», а также сотрудникам лаборатории технологии алмазного бурения ВИТР М. А. Денисову и Г. В. Петровой, принимавшим непосредственное участие в исследованиях.

Авторы благодарны В. Н. Лебедеву за полезные советы и рекомендации по уточнению и дополнению рукописи, высказанные при рецензировании.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ КЕРНОВОГО ОПРОБОВАНИЯ ПРИ КОЛОНКОВОМ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОМ БУРЕНИИ

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Большая часть настоящей работы посвящена рассмотрению специальных вопросов процесса кернообразования при геологоразведочном бурении. Исследование теоретических аспектов процесса кернообразования и разработка актуальных проблем практического применения технологических рекомендаций и специальных технических средств для отбора керна определяют соответствующую специфику терминологии в описании процесса кернообразования и собственно процесса геологоразведочного бурения.

Поэтому для удобства восприятия и однозначности трактования отдельных понятий ниже приведены некоторые специальные термины и определения, использованные в данной работе.

Керновый материал — горная порода различной степени дробления, извлеченная из керноприемной трубы после подъема колонкового снаряда на поверхность. Количество кернового материала определяет выход керна (линейный, весовой или объемный).

Керновая проба — керновый материал, извлеченный за один рейс и принятый к обработке для получения необходимой геологической информации.

Достоверность керновой пробы — соответствие геологической информации, полученной по пробе, действительным параметрам в том интервале скважины, который представлен пробой.

Представительность керновой пробы — соответствие параметров полученных керновых проб требованиям, предъявляемым геологической службой.

Качество кернового опробования характеризуется полнотой извлечения керна и сохранностью в нем структурно-текстурных особенностей.

Степень избирательности истирания — доля истертого керна, приходящаяся на рудный минерал.

Первичная трещиноватость — естественная дезинтеграция горных пород в массиве по естественным трещинам.

Вторичная трещиноватость — дезинтеграция горных пород в керноприемной трубе.

Вибрационный отрыв керна — отделение монолитного столбика керна от забоя под воздействием вибраций колонкового снаряда.

Керновый зазор — зазор между стенками керноприемной трубы и неотделенным от забоя столбиком керна при идеальной соосности колонкового набора.

Эффект бесшаровой мельницы — результат процесса, при котором износ горных пород в керноприемной трубе протекает аналогично их дроблению в бесшаровых мельницах.

Износ керна — разрушение керна в течение рейса под воздействием различного рода механических сил или химических явлений.

Режим бурения — совокупность параметров, характеризующих работу породоразрушающего инструмента. Основные параметры при вращательном бурении: осевая нагрузка P_{oc} на породоразрушающий инструмент; частота вращения бурового снаряда n ; расход Q и давление p очистного агента.

Оптимальный режим бурения — режим, обеспечивающий получение лучших технико-экономических показателей бурения с учетом конкретных геолого-технических и организационных условий.

Осевая нагрузка на породоразрушающий инструмент P_{oc} — параметр режима бурения, определяющий силу, приложенную по оси бурового снаряда к породоразрушающему инструменту.

Удельная нагрузка на породоразрушающий инструмент P_{ud} — осевая нагрузка P_{oc} , приходящаяся на единицу площади торца породоразрушающего инструмента или на один резец.

Частота вращения бурового снаряда n — параметр режима бурения, определяющий число оборотов породоразрушающего инструмента в единицу времени.

Линейная скорость v — мгновенная скорость точки рабочей поверхности породоразрушающего инструмента.

Окружная скорость породоразрушающего инструмента — параметр режима бурения, определяющий линейную скорость v точки, находящейся на наружной части рабочей поверхности вращающегося породоразрушающего инструмента.

Расход очистного агента Q — параметр режима бурения, определяющий количество очистного агента, подаваемого на забой скважины в единицу времени.

Давление очистного агента p — параметр режима бурения, характеризующий гидравлические сопротивления очистного агента в нагнетательной системе бурового насоса или компрессора.

Прямая промывка скважины — промывка с подачей промывочной жидкости на забой через буровой снаряд и подъемом ее между снарядом и стенками скважины или обсадной колонны.

Обратная промывка скважины — промывка с подачей промывочной жидкости на забой через зазор между буровым снарядом и стенками скважины или обсадной колонной и подъемом ее через буровой снаряд.

Призабойная промывка — промывка скважины в зоне, примыкающей к забою.

Подача бурового снаряда — регулируемое поступательное перемещение бурового снаряда в процессе углубки скважины.

Углубка скважины — перемещение забоя скважины в результате разрушения горной породы различными способами.

Авария в скважине — непреднамеренное прекращение углубки скважины, вызванное нарушением рабочего состояния скважины или находящегося в ней инструмента.

Осложнение в скважине — затруднение углубки скважины, вызванное нарушением ее рабочего состояния.

Разбуривание — ликвидация аварии или завала породы породоразрушающим инструментом.

Проработка скважины — операция по восстановлению диаметра скважины, производимая перед спуском обсадных колонн, перед скважинными исследованиями и при ликвидации осложнений. В некоторых случаях проработка скважины производится перед спуском породоразрушающего инструмента.

Расширение скважины — увеличение диаметра скважины.

Крепление скважины — закрепление стенок скважины и изоляция необходимых ее интервалов.

Тампонирование скважины — крепление стенок скважины тампонирующими материалами.

Цементирование скважины — тампонирование скважины цементом или цементосодержащими материалами.

**ПРЕДСТАВИТЕЛЬНОСТЬ
КЕРНОВОГО ОПРОБОВАНИЯ
И ДОСТОВЕРНОСТЬ
ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
ПРИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОМ БУРЕНИИ**

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Физические и химические свойства полезного ископаемого, и прежде всего содержание в нем полезных и вредных компонентов, определяются при опробовании в процессе разведки месторождения. Отбираемые пробы подвергаются химическому анализу, результаты которого принимаются за основу для качественной характеристики месторождения и для подсчета запасов полезного ископаемого. При колонковом разведочном бурении пробой является поднятый из скважины керн. При недостаточном выходе керна в пробу может отбираться буровой шлам.

Известно, что для достоверного опробования с каждой единицы длины опробуемого пересечения тела полезного ископаемого должно быть отобрано одинаковое по объему количество материала. При этом условии в пробу отбирается количество материала, достаточное для необходимых испытаний и анализов и для резервных дубликатов. Таким образом, для условий опробования скважин колонкового бурения по керну в отличие от бороздового опробования главным требованием является не постоянство сечения керна, которое обычно достаточно выдержано, а непрерывность отбора керна по всей длине опробуемого интервала скважины. Только при выполнении этого требования керновая проба будет представительная независимо от диаметра керна. Отсюда следует, что достоверное опробование скважин колонкового бурения будет обеспечено при 100 %-ом выходе керна.

Требования к полноте линейного выхода керна остаются в силе и в тех случаях, когда керн представлен не одним сплошным столбиком, а отдельными плашками или кусочками. Неполный выход керна при бурении, а также избирательное истирание в керне рудного минерала или вмещающей породы снижают представительность проб и достоверность опробования. Однако линейный выход керна при современной технической оснащенности колонкового бурения обеспечивается редко даже при применении двойных колонковых труб, эжекторного способа проходки рудных интервалов и других мероприятий.

В подавляющем большинстве случаев потери рудного керна в скважинах колонкового бурения составляют от единиц до десятков процентов, причемнередко за счет избирательного истирания более мягких, более хрупких или более раздробленных

и перемятых участков, к которым часто и приурочены рудные интервалы.

В связи с неполнотой выхода керна представительность керновых проб значительно снижается по сравнению с представительностью бороздовых проб независимо от диаметра керна и от соотношения площадей поперечного сечения керна и борозды. Последнее относится не только к содержанию полезных компонентов, но и к определению мощности тела полезного ископаемого по керну.

Представительность керновых проб в большой степени зависит от полноты выхода керна, поэтому очень важно правильно определять процент его выхода.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫХОДА КЕРНА

Выход керна может определяться тремя способами: линейным, весовым и объемным.

При линейном способе выход керна вычисляется как отношение длины полученного керна к длине пробуренного интервала скважины. Считается, что этот метод не обеспечивает достаточно высокой точности измерений. Действительно, если поднятый на поверхность керн представлен мелкими кусками или плашками неправильной формы, плотно уложить их в керновый ящик, как правило, не удается. В результате этого длина керна оказывается завышенной. Следует отметить, что точность определения выхода керна линейным способом существенно возрастает при применении специальных колонковых снарядов, снабженных разъемной керноприемной трубой. В практике буровых работ линейный способ определения выхода керна распространен наиболее широко, что обусловлено его простотой и оперативностью.

При весовом способе выход керна может быть определен по формуле

$$B_{к.в} = 4m_k / (\pi d_k^2 L \rho), \quad (1-1)$$

где $B_{к.в}$ — весовой выход керна, %; m_k — фактическая масса поднятого керна; ρ — плотность горной породы; d_k — диаметр керна; L — проходка за рейс.

Этот способ недостаточно точен из-за искажения массы керна в результате смачивания его промывочной жидкостью, избирательного истирания керна и ряда других причин, а от рассмотренного ранее линейного способа определения выхода керна он отличается еще и большей трудоемкостью.

Наиболее достоверные результаты обеспечивает применение объемного способа определения выхода керна. Действительно, зная длину пробуренного интервала скважины L , диаметр обуруиваемого столбика керна d_k и его объем, можно

определить выход керна в процентах. Для этого поднятый из скважины керн помещается в сосуд, объем которого известен заранее. Сосуд заполняется водой, объем которой учитывается. Объем полученного керна определяется как разность объемов сосуда и долитой воды.

Объемный выход керна $B_{к.о}$ определяется по формуле

$$B_{к.о} = 124L(Q-q)/d_{к}^2 \quad (1-2)$$

где Q — объем мерного сосуда, дм³; $d_{к}$ — диаметр керна, дм; q — объем доливаемой воды, дм³; L — проходка за рейс, дм.

Объемный метод определения выхода керна обычно применяется в тех случаях, когда поднятый на поверхность керн представлен в виде мелких частиц и плашек неправильной формы. В этих условиях объемный метод обеспечивает более точные результаты по сравнению с линейным способом. Если же керн поднят в виде столбиков или достаточно крупных плашек, по точности линейный способ не уступает объемному.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ОРУДЕНЕНИЯ

Представительность керновых проб при данном выходе керна зависит только от тех свойств руд, которые определяются изменчивостью (неравномерностью) оруденения и избирательностью истирания полезного ископаемого в процессе бурения.

Для оценки изменчивости оруденения может быть использован предложенный В. В. Богацким [1, 2] и апробированный в ряде работ [3, 4, 5] показатель неравномерности оруденения P_n , являющийся показателем относительной изменчивости и характеризующий предельную изменчивость геологических свойств изучаемого объекта:

$$P_n = C_{\max}/C_{ср}, \quad (1-3)$$

где C_{\max} — максимальное значение признака; $C_{ср}$ — среднее значение признака.

Этот показатель является достаточно строгим как математически, так и физически, наиболее легко и просто вычисляется по сравнению с такими показателями изменчивости, как коэффициент вариации, дисперсия и др.

При вычислении показателя неравномерности оруденения P_n за максимальное значение признака во всех случаях принято содержание полезного компонента C_{\max} в самой богатой из всех секционных проб, относящихся к данному объекту. Максимальное содержание компонента, встреченное только в одной из множества взятых на месторождении секционных проб,

может оказаться в некоторых случаях излишне высоким для руд, представленных в отдельных рудных телах месторождения. Поэтому на месторождениях с несколькими рудными телами или различными типами руд на разных участках, охарактеризованных достаточно большим числом проб (100 и более), показатели неравномерности P_n следует вычислять раздельно для каждого такого тела или участка месторождения.

При определении значений P_n для отдельных месторождений, их участков, рудных тел, типов руд и т. п. за среднее содержание C_{cp} следует принимать фактическое среднее содержание компонента, вычисленное по всем имеющимся данным опробования соответствующего объекта.

Результаты вычислений P_n показывают, что показатель неравномерности оруденений является величиной, значительно более постоянной и характерной для отдельных видов полезных ископаемых, чем средние C_{cp} и максимальные C_{max} содержания компонентов. Именно это свойство P_n обеспечивает возможность отчетливой группировки руд и месторождений по этому признаку и использование его для достаточно надежной количественной оценки достоверности керновых проб руд различных полезных ископаемых и их типов в зависимости от плотности линейного выхода керна.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ИЗБИРАТЕЛЬНОСТИ ИСТИРАНИЯ КОМПОНЕНТОВ РУДЫ В ПРОЦЕССЕ БУРЕНИЯ

Систематические погрешности керновых проб при неполном выходе керна обусловлены избирательным истиранием и переходом в шлам и в более тонкий материал составляющих руду компонентов.

Большинство рудных минералов цветных и редких металлов (галенит, сфалерит, антимонит, молибденит, киноварь и др.) обладают обычно меньшей твердостью или большей хрупкостью, чем вмещающие их жильные и другие породы. Кроме того, рудные минералы нередко приурочены к ослабленным тектоническим зонам трещиноватости, смятия, и поэтому избирательному истиранию чаще подвергаются именно рудные минералы, и по керновым пробам содержания будут занижены.

Разность между средним содержанием компонентов в руде C_{cp} и содержанием его в керне C_k характеризует абсолютную погрешность определения содержания полезного компонента керновой пробы $A = C_{cp} - C_k$.

Относительная погрешность определения содержания полезного компонента M_k определяется отношением абсолютной погрешности A к среднему (истинному) содержанию компонентов в руде C_{cp} :

$$M_k = (A/C_{cp}) \cdot 100 \% . \quad (1-4)$$

Понятие избирательности истирания I компонентов, составляющих руду, введено [3] для установления количественного показателя избирательного истирания, взаимосвязи его с другими свойствами руд месторождений с целью определения погрешности керновых проб при неполном выходе керна. Избирательность истирания компонента в керне I характеризуется отношением доли истертого керна с максимальным содержанием компонента C_{\max} к доле истертого керна со средним содержанием компонента C_{cp} для пробуренного интервала скважины. Тогда среднее (истинное) содержание компонента C_{cp} в пробуренном интервале скважины можно представить выражением, состоящим из трех слагаемых:

$$C_{cp} = B_k C_k / 100 + [(100 - B_k) C_{\max} / 100] I + [(100 - B_k) C_{cp} / 100] \times (1 - I), \quad (1-5)$$

где B_k — выход керна, %; C_k — содержание компонента в пробе керна.

Полученное выражение среднего содержания компонента C_{cp} в пробуренном интервале скважины после ряда преобразований можно представить в виде

$$C_{cp} = [B_k C_k + (100 - B_k) C_{\max} I] / [B_k + (100 - B_k) I]. \quad (1-6)$$

Тогда степень избирательности истирания определится по следующей формуле:

$$I = B_k (C_{cp} - C_k) / [(100 - B_k) (C_{\max} - C_{cp})]. \quad (1-7)$$

По характеру распределения главных полезных компонентов, по строению и условиям залегания в месторождениях и по другим свойствам, с которыми связаны показатель неравномерности, степень избирательности истирания, т. е. погрешность керновых проб, руды разных видов полезных ископаемых подразделены на следующие пять больших групп:

- 1) сплошные массивные;
- 2) вкрапленные;
- 3) прожилково- и слоисто-вкрапленные;
- 4) прожилковые, полосчатые и переслаивающиеся;
- 5) прожилково-гнездовые.

Поскольку первые четыре группы охватывают весьма широкий круг разнообразных руд и месторождений разных видов полезных ископаемых, каждая из них подразделена еще на типы руд и месторождений.

Примеры значений показателя неравномерности P_n и избирательности истирания I для разных видов полезных ископаемых, групп и типов их руд и месторождений приведены в табл. 1-1.

Таблица 1-1

**Показатель неравномерности Π_n и степень избирательности
истириания I для разных видов полезных ископаемых**

Группы и типы руд	Характерные примеры руд и месторождений	Π_n , %	I , %
Сплошные массивные Мономинеральные	Сплошные мартитовые, магнетитовые, гидрогематитовые и другие богатые железные руды криворожского типа; сплошные мономинеральные руды каменной соли; бокситы Боксонского месторождения; тальк Алгуйского месторождения	$1,2 \pm 10$	40 ± 15
Полиминеральные	Сплошные колчеданные медные и медно-цинковые месторождения уральского типа; сплошные полиметаллические руды Горевского, Риддер-Сокольского и других месторождений; апатиты Ошурковского месторождения	4 ± 10	15 ± 10
Вкрашенные Массивные изверженные и осадочные породы	Вкрашенные руды полиметаллических месторождений Садовое, Миргалимсай; медные руды Алмалыка, редкометалльных месторождений Белозиминского, Африканского	$2,5 \pm 10$ $6,5 \pm 10$	20 ± 10 7 ± 5
Жилы и дайки	Руды жильных золоторудных месторождений Средней Азии, Забайкалья, Якутии; оловянных и вольфрамовых месторождений Приморья, Якутии	16 ± 5	5 ± 4
Прожилково- и слоисто-вкрашенные Штокверковые месторождения	Руды вольфрамовых, молибденовых, медно-молибденовых месторождений Забайкалья, Казахстана и Средней Азии	$6,5 \pm 5$	10 ± 8
Линейно-вытянутые зоны трещиноватости	Руды полиметаллических месторождений Алтая, Средней Азии, Прибайкалья; оловорудных месторождений Комсомольского района; ртутных месторождений Терлиг-Хая и частично Никитовки	$8,3 \pm 6$	10 ± 8
Прожилковые, полосчатые и переслаивающиеся Прожилковые	Медные руды месторождения Дальнего; никель-cobальтовые руды Тувинской АССР; асбестовое месторождение Молодежное; оловянные месторождения Тарбальджей, Ингода, Хрустальное; месторождения золота Советское, Коммунар	$3,3 \pm 15$	25 ± 15

Группы и типы руд	Характерные примеры руд и месторождений	$\Pi_{\text{н}}$, %	$M_{\text{к}}$, %
Переслаивающиеся и полосчатые Прожилково-гнездовые	Железистые кварциты Кольского полуострова, Кривого Рога; сфераэсферидиты Дагестана	$1,7 \pm 10$	30 ± 15
	Руды ртутных месторождений Средней Азии (Хайдаркан, Акташ, Чаувай), отдельных участков Никитовки;	20 ± 10	4 ± 3
	мусковит Луговского, Чуйского и Согдиондонского месторождений	$6,5 \pm 5$	8 ± 5

ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ КЕРНОВЫХ ПРОБ

Базируется на положениях, вытекающих из главных принципов опробования, и на результатах изучения тех свойств руд разных групп и типов, которыми определяются погрешности проб при неполном выходе керна. Ранее в ряде работ [3, 4, 5] было показано, что представительность проб практически не зависит от диаметра керна, а определяется главным образом составом и строением руд, в частности показателем неравномерности распределения компонентов в руде, степенью избирательности истириания составляющих руду компонентов и линейным выходом керна.

Диаметр скважины колонкового бурения или диаметр керна может отразиться на достоверности керновых проб лишь косвенно, в той мере, в какой он влияет на выход керна.

При неполном выходе керна B_{k} систематические погрешности керновых проб M_{k} будут обусловлены только избирательностью истириания I минералов и соотношением содержаний компонентов в этих минералах со средним содержанием их в опробованном интервале скважины (или показателем неравномерности распределения компонентов в руде).

Из формулы (1.3) следует, что $C_{\text{max}} = \Pi_{\text{n}} C_{\text{ср}}$. Подставив в формулу (1.6) вместо C_{max} его значение и сделав преобразования, получим для выражения среднего содержания $C_{\text{ср}}$ следующую формулу:

$$C_{\text{ср}} = B_{\text{k}} C_{\text{k}} \cdot 100 / [B_{\text{k}} \cdot 100 - (100 - B_{\text{k}})(\Pi_{\text{n}} - 1)I]. \quad (1-8)$$

Заменив входящую в эту формулу величину $C_{\text{ср}}$ ее значением из формулы (1.4), равным $C_{\text{ср}} = C_{\text{k}} / (1 - M_{\text{k}})$, получим следующую формулу:

$$M_{\text{k}} = [(100 - B_{\text{k}})(\Pi_{\text{n}} - 1)I / B_{\text{k}}] \cdot 100 %. \quad (1-9)$$

Из последней формулы вытекает, что погрешность, а следовательно, и достоверность керновой пробы для руд каждого конкретного месторождения, характеризующихся свойственными им значениями показателя неравномерности Π_n и степени избирательности истирания I , зависят только от выхода керна и не зависят от его диаметра. Следует также подчеркнуть, что погрешности M_k , связанные с недостаточным выходом керна, обусловленные избирательным (непропорциональным) истиранием составляющих руду минералов, носят, как правило, систематический характер.

Практика алмазного бурения, а также экспериментальные работы последних лет свидетельствуют о том, что для выявления и исправления систематических погрешностей керновых проб, обусловленных высокой степенью избирательности истирания руд, при недостаточном линейном выходе керна необходимо использование шлама. Однако в настоящее время шлам еще редко используется в существующей практике для контроля и уточнения данных опробования по керну. Это связано с трудностью точной привязки этого материала к интервалу отбора керновых проб, разубоживанием или обогащением шлама за счет обвалов со стенок скважины рудного или безрудного материала, за счет поглощения его с промывочной жидкостью по трещинам, за счет применения глинистой промывки и т. п.

Таким образом, приведенная формула (1.9) позволяет устанавливать при разведке месторождений колонковыми скважинами степень достоверности керновых проб при том или ином линейном выходе керна и заранее знать тот минимальный выход керна, который требуется в каждом конкретном случае для получения представительных керновых проб, т. е. проб с погрешностями, не превышающими заданных.

Значение минимального допустимого выхода керна $B_{k \min}$, обеспечивающего получение достоверных керновых проб, с заданной допустимой погрешностью $M_{k, \text{доп}}$ аналитически выражается следующей формулой:

$$B_{k \min} = (\Pi_n - 1) I \cdot 100 / [(\Pi_n - 1) I + M_{k, \text{доп}}]. \quad (1-10)$$

Эта зависимость устанавливается на основе приведенной выше формулы (1.9) путем несложных преобразований. Если $M_{k, \text{доп}}$ принимать за величину постоянную, то $B_{k \min}$ будет зависеть только от Π_n и I .

Рассчитанные по формуле (1.9) значения относительной погрешности определения по керновым пробам истинного среднего содержания компонентов в опробованном интервале скважины для разных значений B_k , Π_n и I приведены в табл. 1-2.

Таблица 1-2

Погрешности M_k керновых проб в зависимости от полноты линейного выхода керна B_k , показателя неравномерности Π_h и от степени избирательности истирания H

		Показатель неравномерности оруденения Π_h , %															
		Линейный выход керна B_k , %															
Степень избирательности истирания H , %	90	70	50	90	70	50	95	90	70	50	95	90	70	95	90	70	20,0
	1,25		2,0		4,0												
Погрешность керновой пробы M_k																	
2	0,05	0,2	0,5	0,2	0,8	2	0,3	0,6	2,5	6	0,5	2	4	2	4	4	16
5	0,1	0,5	1,2	0,5	2	5	0,8	1,5	6	15	1,2	5	10	5	10	40	
10	0,2	1	2,5	1	4	10	1,6	3	12	30	2,5	10	20	10	20	80	
20	0,5	2	5	2	8	20	3	6	24	60	5	20	40	20	40	160	
50	1,2	5	12,5	5	20	50	8	15	60	50	12	50	100	50	100	400	
100	2,5	10	25	10	40	100	16	30	120	300	25	100	200	100	200	800	

ОСОБЕННОСТИ КЕРНОВОГО ОПРОБОВАНИЯ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Методика и технология кернового опробования угольных месторождений достаточно широко освещена в литературе последних лет [6, 8, 17, 19 и др.]. Поэтому в настоящем разделе остановимся только на главных особенностях кернового опробования угольного месторождения.

Представительность керна обеспечивается высоким его линейным выходом, благодаря которому он полностью отражает весь пробуренный по пласту интервал и по нему можно достоверно судить о мощности, строении и о вещественном составе пласта.

Вторым главнейшим критерием представительности поднятого угольного керна является его качество, под которым подразумевается сохранность в керне естественного состояния угольного пласта (структуры, текстуры, трещиноватости и т. д.). Даже полный выход (100 %) угольного керна в виде перетертой и перемешанной массы угля с прослойками пород не может служить материалом для достоверного опробования. Только в единстве процента выхода и качества должно состоять понятие представительности керна угля.

Основными показателями, определяющими кондиционность угольного пласта, являются: мощность пласта, его строение, зольность, микрокомпонентный состав, сернистость, выход летучих веществ, пластометрические свойства и ряд других показателей.

Повышение геологической информативности и достоверности данных разведочного бурения является кардинальной задачей опробования угольных пластов. Для выполнения требований угольной промышленности к геолого-разведочным работам и исходным геологическим материалам необходимо, чтобы угольный керн, получаемый при бурении, отражал:

- строение угольного пласта по всей его мощности;
- структуру и текстуру угля;
- вещественный и петрографический состав угля в каждой пачке в отдельности;
- литологию прослоев, разделяющих угольные пачки;
- тектоническую нарушенность пласта;
- элементы залегания пласта (углы наклона слоев по отношению к оси скважины).

Такую информацию можно получить только по представительному керну, полученному с полным сохранением структуры, т. е. по керну, в котором полностью сохранено естественное положение угольных пачек и породных прослоев, а вещественный состав и технологические свойства угля не изменины посторонними примесями при бурении (глинистым раствором, шламом вышележащих пород и т. п.). Бесструктурный керн, поднятый в виде смеси перемятого угля с разрушенными прослойками породы, несет очень незначительную, а зачастую и ошибочную информацию об угольном пласте, и поэтому такой керн не может служить материалом для опробования.

Для оценки сохранности структуры угольного пласта в керне необходимо иметь количественный критерий. В качестве такого критерия предложен [6] безразмерный коэффициент структурности керна

$$K_{ct} = l_{c.k} / L \quad (1-11)$$

где $l_{c.k}$ — длина керна, сохранившего структуру пласта, м; L — общая длина поднятого керна, м, $L = l_{c.k} + l_{b.m}$, $l_{b.m}$ — длина керна, полученного в виде бесструктурной массы.

Значение коэффициента структурности керна изменяется от 0 (полностью бесструктурный керн) до 1,0 (сохранение структуры 100 %).

Погрешность керновой пробы в зависимости от выхода керна и степени неоднородности угольного пласта можно выразить следующим соотношением:

$$m_K = \frac{(100 - B_K) K_H}{B_K}, \quad (1-12)$$

где B_K — выход керна, %; K_H — коэффициент неоднородности угольного пласта.

Коэффициент неоднородности угольного пласта характеризует собой вариации зольности в литотипах угля, слагающих угольный пласт. Определяют K_H по формуле

$$K_H = \sqrt{\frac{\sum m_i (A_i - A_{cp})^2}{\sum m_i}} / A_{cp}, \quad (1-13)$$

где A_i — зольность i -го литотипа угля, %; m_i — мощность i -го литотипа угля, м; A_{cp} — средняя зольность угля в пласте, %.

Если пласт представлен одним литотипом угля, коэффициент неоднородности будет равен нулю. При очень неоднородном по зольности пласте коэффициент его неоднородности будет стремиться к единице.

Из формулы (1.12) следует, что если K_H стремится к нулю, то к нулю стремится и погрешность керновой пробы. При $K_H=0$ пробы представительна при любом выходе керна, обеспечивающем необходимую массу ее для лабораторных исследований. Исходя из допустимого значения погрешности, равного 0,05, из формулы (1.12) можно получить минимально допустимый выход представительного керна при разных значениях коэффициента неоднородности угольного пласта

$$B_{K \min} = 100 K_H / (m_K + K_H) = 100 K_H / (0,05 + K_H). \quad (1-14)$$

Вычисленные по формуле (1.14) значения $B_{K \min}$, при которых сохраняется представительность керновой пробы угля, полученной из пласта с коэффициентом неоднородности K_H , приведены в табл. 1-3.

Получение структурного угольного керна с линейным выходом, обеспечивающим сохранение представительности керновой пробы по вещественному составу, является главной задачей кернового опробования угольных пластов.

Таблица 1-3

**Минимально допустимый выход керна $B_{K \min}$,
обеспечивающий сохранение представительности
керновой пробы по вещественному составу,
в зависимости от коэффициента неоднородности
угольного пласта K_H**

Коэффициент неоднородности K_H	Выход керна $B_{K \min}$, %
$>0,5$	100—90
0,5—0,2	90—80
0,2—0,1	80—70
0,1—0,08	70—60
0,08—0,05	60—50
$<0,05$	<50

КЛАССИФИКАЦИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПО ТРУДНОСТИ ОТБОРА КЕРНА

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ КЛАССИФИКАЦИЙ ГОРНЫХ ПОРОД ПО ТРУДНОСТИ ОТБОРА КЕРНА

К настоящему времени разработано большое число классификаций горных пород по трудности отбора керна. Однако все они не решают проблемы классификации пород по трудности отбора керна в целом.

Обзор существующих классификаций показал, что их общим недостатком является трудность практического применения в конкретных геолого-технических условиях бурения скважин. Кроме того, все вместе существующие классификации охватывают большое число факторов, оказывающих влияние на выход керна при бурении, а каждая в отдельности построена лишь на некоторых из них, причем часто не самых важных. В качестве основополагающих факторов в существующих классификациях приняты следующие:

- 1) механическое и химическое разрушение керна промывочной жидкостью [7, 8];
- 2) вибрации снаряда [9, 10, 11, 12, 13];
- 3) физико-механические свойства горных пород [12, 14, 15];
- 4) условия залегания пород [14];
- 5) геолого-петрографическая характеристика, химический состав минералов [14];
- 6) коэффициент разрушенности [12];
- 7) параметры режима бурения [15, 16];
- 8) характер и степень связи между частицами [15].

Рассмотрим наиболее распространенные классификации горных пород по трудности отбора керна. Классификация, приведенная в «Инструктивных указаниях по отбору керна при колонковом бурении геологоразведочных скважин» [17], построена по следующим основным принципам, разработанным в МГРИ под руководством С. А. Волкова:

— воздействие на керн механического разрушения, промывочной жидкости, воздуха, вибрации бурового снаряда;

— воздействие на керн химического разрушения (при бурении растворимых пород).

На основании этого все горные породы разделены на четыре группы.

В основу другой классификации, приведенной во «Временной инструкции по взятию керна при колонковом бурении» [18], положено воздействие на образование и сохранение столбиков керна промывочной жидкости (размывание, растворение) и способность его противостоять истиранию в процессе бурения скважины. По этим признакам все породы и полезные ископаемые разделены на семь групп.

Рассмотренные классификации весьма условны: группы пород в них имеют в основном качественную оценку, а не количественную, что ведет к субъективизму в определении геологотехнических условий бурения в каждом конкретном случае. В группы пород не включены все разновидности, встречающиеся в практике геологоразведочного бурения. Например, в первой классификации неясно, куда отнесена обширная группа монолитных и слаботрещиноватых пород, неоднородных по строению; во второй отсутствует группа твердых и очень твердых трещиноватых и сильнотрещиноватых пород VIII—XII категорий по буримости. Изучение и анализ этих классификаций показали, что они могут быть использованы лишь в отдельных конкретных геологотехнических условиях.

Наиболее широко применяется классификация С. С. Сулакшина, разработанная на основе устойчивости и сопротивляемости керна в процессе колонкового бурения в зависимости от физико-механических свойств и от степени связи между отдельными частицами (зернами) пород. При этом автор приводит три типа связи:

— жесткая между зернами, преимущественно кристаллизационная;

— сложная, преимущественно водно-коллоидная;

— за счет льда (мерзлые породы).

По этим признакам горные породы объединены автором в четыре группы. Первая группа пород представлена рыхлыми несвязанными породами типа галечника, гравия, щебня. Для второй группы наиболее характерны глинистые породы. В третью группу входят сыпучие и слабосвязанные породы, плынны.

К четвертой группе относятся все кристаллические породы изверженного и метаморфического комплексов, а также часть осадочных пород типа песчаников, мергелей, гипса, ангидрита, доломитов и др.

С. С. Сулакшин под характеристикой связи между частицами понимает характер и степень связности между обломками пород или минералами. Судя по тому, что в группу сыпучих и слабосвязанных пород автором отнесены также сильнотре-

щиноватые породы, становится очевидным, что имеются в виду обломочные породы аллювиального и делювиального происхождения без связующего цемента. Следовательно, нечеткое представление петрографических особенностей пород привело к путанице при составлении классификации.

По нашему представлению, к трещиноватым породам следует относить различные типы пород в виде цельного тела, обладающего какой-либо формой, но насыщенные в той или иной мере бессистемно распределенными различной формы и размеров пустотами, трещинами, миндалинами и т. д. Трещиноватые «скальные» горные породы автор помещает в III группу классификации с «изменяющейся устойчивостью». При этом он поясняет, что имеются в виду мерзлые породы, в которых пустоты и гнезда заполнены льдом.

Из изложенного очевидно, что в рассматриваемую классификацию не оказались включенными наиболее представительные по объему бурения трещиноватые горные породы. Кроме того, характер и степень связи между частицами включают в себя еще и другие представления, которые автором не принимаются во внимание. К ним относятся, например, ослабленные силы связи между прослойками различного состава, но приблизительно одинаковых по прочности между собой; ослабленные связи между частицами по плоскостям отдельности в относительно однородных по строению породах; характер и сила связи в породах с направленными текстурами также резко различны в зависимости от направления воздействия индентора (или другого механического воздействия, например, вибрации колонны бурильных труб).

Очевидно, что характер и степень связи между частицами необходимо принимать во внимание, но лишь для определенных типов пород. Для массивных относительно однородных по строению пород проще и целесообразнее пользоваться их механическими характеристиками (твердостью, пластичностью и др.), которые в определенной степени характеризуют силы сцепления частиц, однако в отличие от последних являются более определенными понятиями и имеют точную количественную оценку.

Таким образом, классификация, разработанная С. С. Сулякиным, представляет определенный интерес, так как по описанию группы пород охватывает в основном все их типы, наиболее широко распространенные в практике бурения. Однако она также не лишена недостатков, присущих рассмотренным выше классификациям. Например, дается только качественная характеристика пород каждой группы, что также ведет к субъективизму в оценке пород для конкретных геолого-технических условий. Кроме того, характер и степень связи между частицами породы не могут быть в полной мере достоверно использованы

в качестве основы для построения классификации по трудности отбора керна ввиду их условности и отсутствия до настоящего времени количественной оценки. Качественная характеристика связи между частицами хотя и дает общее представление о породах, составляющих каждую группу классификации, однако не позволяет практически использовать ее в производственных условиях бурения.

Из существующих классификаций следует также выделить классификацию, разработанную И. Б. Булаевым [12], в которой все горные породы и полезные ископаемые классифицируются по трудности получения керна с помощью коэффициента разрушаемости φ , определяемого на специальной установке в лабораторных условиях.

По мнению автора, коэффициент разрушаемости керна φ характеризует выход керна при колонковом бурении, учитывая особенности физико-механических свойств горных пород, а также разрушающие факторы, связанные с техникой и технологией бурения. Коэффициент разрушаемости керна φ определяется с помощью специального прибора, имитирующего условия скважины (поперечные и продольные колебания, действие промывочной жидкости, самозаклинивание и истирание керна и т. д.). В результате экспериментальных работ, проведившихся на месторождениях Восточной Сибири, была составлена классификация пород и полезных ископаемых по трудности получения керна, разработанная на основе коэффициента разрушаемости керна φ .

Коэффициент разрушаемости керна φ получают следующим образом: из кусочков керна набирают пробу весом 1000 г, которая загружается в трубу, устанавливаемую затем под углом 75° к вертикальной оси. Далее в эту трубу подается 20 л/мин промывочной жидкости и труба начинает вращаться с частотой 180 мин^{-1} ; амплитуда поперечных колебаний 3—5 мм, частота 10—12 Гц. В процессе опыта деталь, выполняющая роль столбика керна на забое, подается вдоль оси снаряда с помощью гидросистемы со скоростью 5 см/мин.

При самозаклинивании кусочков керна в трубе нагрузка увеличивается до 1000 Н, а затем они освобождаются расхаживанием этой же детали. Продолжительность опытов 10 мин. В конце опыта оставшийся материал высушивается, взвешивается и определяется φ по формуле

$$\varphi = (P_1 - P_2)/P_1, \quad (2-1)$$

где P_1 — исходная масса пробы, г; P_2 — масса материала, оставшегося после опыта, г.

Чем выше значение φ , тем интенсивнее разрушается керн в процессе бурения и ниже выход керна, что видно из формулы $B_k = 100(1-\varphi)$, где B_k — выход керна, %.

В классификации, разработанной И. Б. Булнаевым [12], все горные породы и полезные ископаемые разделены на пять групп по трудности получения керна при помощи коэффициента разрушаемости ϕ , определяемого на специальной установке в лабораторных условиях.

Анализ этой классификации дает возможность утверждать, что моделирование процесса бурения в лабораторных условиях в некоторой степени воспроизводит действительные процессы кернообразования. Однако этот метод пригоден в основном для исследования дробленых зон, так как он не учитывает применяемые технические средства, технологию и организацию работ.

Другие известные классификации [14, 16 и др.] в той или иной степени повторяют рассмотренные и имеют те же недостатки. Например, классификация горных пород по трудности получения керна, разработанная А. А. Гребенюком [16], включает технические мероприятия по обеспечению выхода керна. Однако это общие рекомендации, не позволяющие оперативно использовать их в конкретной ситуации. Кроме того, анализ горных пород в различных группах классификаций, вызывает сомнение в однотипности объединяемых разновидностей.

Зарубежные исследователи также не оставили без внимания вопросы разработки классификации пород по их способности к кернообразованию. В качестве примера можно привести классификацию П. Рулишека (ВУГИ ЧССР), в основу которой заложен показатель кернообразования породы J . Он определяется по формуле

$$J = 10^2 l/(al_n), \quad (2-2)$$

или

$$J = B_0/a \quad (2-3)$$

где l_n — углубка за рейс, м; l — длина полученного керна, м; a — абсолютная кусковатость керна; B_0 — относительный выход керна, %.

Таким образом, предлагаемый показатель J зависит от выхода керна и абсолютной кусковатости породы в керне. На этой основе и выведен способ расчета J .

Качество отбора керна ухудшается при данных геолого-технических условиях бурения с увеличением степени вторичного разрушения горной породы в течение рейса. Значение J будет при этом уменьшаться от 100 (идеальное состояние) до 0. На основании стендовых и производственных исследований отбора керна предложена схема классификации пород по этому показателю (табл. 2-1). Она позволяет прогнозировать и осуществлять выбор технических средств отбора керна для бурения в различных геологических условиях.

Таблица 2-1

**Классификация горных пород по способности к кернообразованию,
по П. Рулишеку**

Категория пород по кернообразованию	Показатель <i>J</i>	Кернообразование
1	100,0—65,1	Очень хорошее
2	65,0—40,1	Хорошее
3	40,0—25,1	Хорошее или среднее
4	25,0—10,1	Среднее или трудное
5	10,0—3,1	Трудное
6	3,0—0,0	Очень трудное

Основными недостатками всех разработанных классификаций является их условность из-за отсутствия количественных оценок факторов, влияющих на выход керна, а также недостаточно тесная связь с реально существующими геолого-техническими условиями бурения.

На основе проведенного анализа существующих классификаций горных пород по трудности отбора керна можно отметить следующее.

1. 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 для практического применения.

2. Характер и степень связи между частицами породы не могут быть взяты за основу для построения классификации по трудности отбора керна ввиду условности и отсутствия их количественной оценки, хотя учитывать эти связи как качественную характеристику разбуриваемых пород необходимо.

3. Коэффициент разрушенности керна, положенный в основу классификации, предложенной И. Б. Булнаевым, может быть использован лишь для определенных типов пород. Кроме того, предлагаемая методика опробована только на месторождениях Восточной Сибири, что явно недостаточно.

4. Необходима принципиально новая научно обоснованная и удобная для практического применения классификация горных пород по трудности отбора керна, построенная с учетом всех известных факторов, влияющих на выход керна, с их количественной оценкой.

5. В отличие от всех известных в настоящее время классификаций по трудности отбора керна за основу новой классификации следует принять признак, суммирующий влияние всех факторов на образование и сохранение керна при бурении.

ДОМИНАНТНЫЙ ПРИЗНАК КЛАССИФИКАЦИИ ГОРНЫХ ПОРОД ПО ТРУДНОСТИ ОТБОРА КЕРНА

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.

В связи с этим для разработки классификации горных пород по трудности отбора керна было необходимо выделить доминантный признак процесса кернообразования, который удовлетворял бы следующим двум условиям:

- имел точную количественную оценку, исключая тем самым субъективное его определение;
- охватывал возможно большее число факторов, существенно влияющих на процесс формирования и дальнейшего сохранения керна в колонковом снаряде, т. е. играл роль интегрального показателя оценки получения керна.

Анализ результатов исследований позволил сделать вывод, что за основу новой классификации горных пород по трудности отбора керна целесообразно взять в качестве доминантного признака, отражающий одновременное воздействие всех известных факторов кернообразования. Таким интегральным признаком может служить линейный выход керна, выраженный в процентах.

Линейный выход керна позволяет судить о трудности получения керна по данной горной породе в процессе бурения при воздействии всех существующих факторов кернообразования непосредственно по выходу готовой продукции, т. е. по самому керну.

Линейный выход керна как доминантный признак классификации удовлетворяет вышеуказанным условиям, т. е. линейный выход керна имеет точную количественную характеристику в процентах (0—100 %) и, кроме того, в процессе бурения испытывает воздействие всех учтенных и неучтенных факторов кернообразования.

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

Однако следует отметить, что в целях введения единого обозначения данного признака в любых геологических условиях на различных месторождениях Советского Союза необходимо выдерживать некоторые технические условия для

исключения отклонений в оценке линейного выхода керна в различных геологических регионах.

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 — 700 мин $^{-1}$; осевая нагрузка на инструмент 700 — 1000 дан; количество промывочной жидкости 30 — 50 дм 3 /мин).

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

Выбранный доминантный признак был проанализирован по всем доступным материалам о выходе керна при геологоразведочном бурении в организациях Мингео СССР (геологические отчеты экспедиций и производственных объединений, литературные источники, результаты экспериментальных работ в стендовых и производственных условиях и др.), а результаты анализа сведены в эталонную схему классификации горных пород по трудности отбора керна.

СТРУКТУРНО-ТЕКСТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГОРНЫХ ПОРОД

В основу новой классификации горных пород по трудности отбора керна положена эталонная схема, основанная на выходе керна в различных горно-геологических условиях и базирующаяся на структурно-текстурных характеристиках и физико-механических свойствах горных пород с учетом степени их связности и трещиноватости.

Для составления эталонной схемы предварительно проведена систематизация комплексов горных пород и их петрографических характеристик (структуры, текстуры, вторичных процессов, степени трещиноватости) по генетическим типам месторождений твердых полезных ископаемых, после чего все горные породы были разбиты на группы по их петрографическим характеристикам с учетом выхода керна.

Очевидно, ни одна из петрографических характеристик разбираемой породы с точки зрения процесса образования и сохранения керна не может рассматриваться без учета ее физико-механических свойств или минеральных агрегатов. На образую-

щийся в процессе бурения столбик керна оказывают механическое воздействие, способствующее его разрушению, технологические параметры бурения, технические средства бурения скважин, горное и гидростатическое давление и другие факторы [12, 14, 16 и др.]. Следовательно, каждый геологический фактор необходимо рассматривать с учетом физико-механических свойств разбуриваемых пород.

При геологоразведочном бурении со структурно-текстурными особенностями разбуриваемых пород связано образование в столбике керна отделившихся кусочков — кристаллов, зерен, обломков, минеральных агрегатов в виде прослоев, линз и т. д., способных привести к разрушению керна, его самозаклиниванию и к избирательному истиранию.

Согласно существующей классификации [17], выделены следующие фракции обломочных пород: обломки и вкрапленники размером до 2 мм, от 2 до 10 мм и более 10 мм.

Разрушение кернового столбика с образованием более мелкообломочных фракций может быть связано с избирательным истиранием, но в этом случае мелкая фракция легко вымывается. Явления самозаклинивания для этих 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 порфировыми, порфировидными или обломочными структурами.

Более крупные обломки и вкрапленники размером больше 40—50 мм выступают уже в качестве монолитного столбика керна и должны рассматриваться по своим структурно-текстурным особенностям как однородная по строению монолитная горная порода, так как в этом случае линейные размеры вкрапленника могут превышать размеры керна, выбуруиваемого породоразрушающим инструментом, наиболее распространенным при колонковом геологоразведочном бурении на твердые полезные ископаемые (коронки диаметром 46, 59, 76 мм).

Образование и сохранение столбика керна с полосчатыми текстурами, крупными (до 10 мм) и весьма твердыми включениями в основной, более мелкозернистой и слабосцепментированной, массе, а также и в обломочных крупнозернистых породах со слабым цементом будет дополнительно осложняться его самозаклиниванием и избирательным истиранием.

В связи с изложенным в эталонной схеме по выходу керна все породы по структурно-текстурным особенностям разделены на пять групп.

1. Несвязные рыхлые размываемые породы, не имеющие связи между обломками (галечники, пески и др.); для получения керна из таких пород при заданных стандартных техниче-

ских условиях бурения необходимо применение специальных технических средств.

2. Связные неоднородные по твердости и строению грубообломочные породы с размером обломков или вкрапленников 2—10 мм и мощностью прослоев до 0,2—0,3 м. Отношение показателей динамической прочности F_d обломков или вкрапленников в прослое к F_d цемента или основной массы прослоя 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 за счет избирательного истирания отдельных прослоев и более мелких фракций самой породы в прослое. В эту группу объединены в основном полосчатые осадочные, метаморфические и пирокластические породы. Влияние их структурно-текстурных особенностей на процесс разрушения керна при геологоразведочном бурении является доминирующим фактором.

3. Связные однородные по строению породы перемежающиеся по твердости и размером обломков или вкрапленников 2—10 мм. Отношение F_d обломков или вкрапленников в монолите к F_d цемента или основной массы монолита также значительно превышает единицу. В процессе 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 размером обломков до 10 мм. Отношение F_d прослоев одной твердости к F_d прослоя с другой твердостью больше или равно единице. В эту группу объединены породы типа полосчатых роговиков, сланцев (аспидные, глинистые сланцы), переслаивание пород различной твердости и т. п. При этом в процессе их бурения могут появиться дополнительные сколы по плоскостям напластования, что приводит к дополнительному перетиранию и дроблению керна. Плоскости напластования в таких породах характеризуются мобильностью. Структурно-текстурные особенности горных 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-тонкосернистые породы с размером обломков менее 2 мм. Отношение F_d обломков или включений к F_d основной массы или цемента больше или равно единице.

2 группа

3 группа

4 группа

5 группа

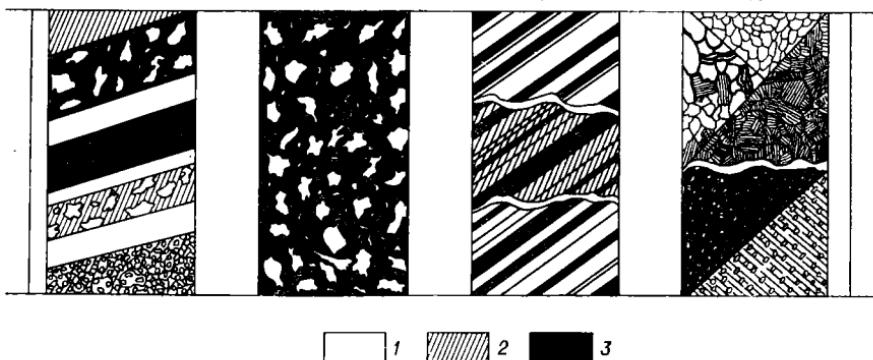


Рис. 2-1. Типы горных пород по группам.

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

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 сохранность керна. В основном группу составляют монолитные средне-, мелко- и скрытокристаллические сливные породы: граниты, диабазы, кварциты, сливной кварц и др. В эту же группу входят породы с полосчатыми, трахитоидными, флюидальными, а также шаровыми и подобными текстурами, в которых отдельные части породы хотя и имеют размеры включений от 20 до 10 мм, но не отличаются по твердости.

Схематическое разделение горных пород по группам показано на рис. 2-1.

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

Таким образом, часть граф эталонной схемы классификации горных пород по трудности отбора керна отведена геологической характеристике пород с точки зрения их структурно-текстурных особенностей, которая в настоящее время не поддается точной количественной оценке, в связи с чем разделение пород на группы проведено по качественным, описательным признакам.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ТРЕЩИНОВАТОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД

Качественные описательные признаки геологических характеристик горных пород приводят к известному субъективизму в оценке указанных признаков. Для более объективной и точной количественной характеристики горных пород при построении эталонной схемы классификации пород по трудности отбора керна введено дополнительное разделение вышеприведенных групп по физико-механическим свойствам и трещиноватости.

За оценочный критерий физико-механических свойств принят остированный в настоящее время объединенный показатель динамической прочности и абразивности горных пород ρ_m , который определяется по формуле

$$\rho_m = 3F_d^{0.8}K_{abp}, \quad (2-4)$$

где F_d — динамическая прочность; K_{abp} — абразивность горных пород.

В настоящее время методика определения показателя ρ_m утверждена Техническим управлением Мингео СССР и принята к обязательному руководству и исполнению геологоразведочными организациями отрасли (ОСТ 41—89—74).

По мнению ряда специалистов, абразивные свойства пород оказывают влияние на количество и качество керна, выражющееся главным образом через износ породоразрушающего инструмента [9, 14, 16]. Абразивный износ буровых коронок увеличивается с ростом абразивности разбуриваемых пород. Это сопровождается уменьшением механической скорости бурения и, следовательно, увеличением времени действия на керн разрушающих факторов. Кроме того, вследствие интенсивного износа резцов, обрабатывающих керн, быстро увеличивается диаметр керна и затрудняется его проход в керноприемную трубу [14, 16].

Объединенный показатель физико-механических свойств горных пород ρ_m учитывает также характер и степень вторичных изменений пород перечисленных выше групп по структурно-текстурным признакам. Имеются в виду такие вторичные процессы, которые приводят лишь к частичному изменению исходной разновидности, не превращая ее в новый тип. Объединенный показатель ρ_m непосредственно связан с категориями пород по буримости, что позволяет увязать эти показатели.

При построении эталонной схемы классификации горных пород по трудности отбора керна 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 этой группе пород большое значение имеет соотношение по твердости и по размерам различных компонентов. В породах, перемежающихся по твердости, с полосчатыми, пятнистыми, линзовидными и прочими 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 сохранение столбика 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 горных пород.

3. $\rho_m > 22,5$ (IX—XII категория 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 влияние структурно-текстурных особенностей на выход керна проявляется на примере широко распространенной группы 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 самозаклиниванию керна.

Трещиноватость горных пород является важнейшим определяющим геологическим фактором процесса кернообразования. Возможность точной количественной оценки данного фактора необходима для введения его в эталонную схему классификации горных пород по трудности отбора керна. Увеличение степени трещиноватости разбуриваемых пород создает дополнительные осложнения в процессе кернообразования и усиливает разрушающие воздействия на керн факторов, характеризующих физико-механические свойства.

Трещиноватость горных пород — рассеченность горной породы трещинами в различных направлениях, связанная с различными причинами: тектоническими, гравитационными, усыханием, замерзанием и оттаиванием, выветриванием и т. п.

За основу количественной оценки трещиноватости горных пород с достаточно высокой степенью достоверности может быть принята удельная кусковатость керна $K_{уд}$ — количество кусков керна на один метр его длины [20]. Для использования количественной оценки трещиноватости в эталонной схеме классификации пород по трудности отбора керна пять классов горных пород по трещиноватости объединены в три группы с учетом дополнительного фактора — характеристики степени нарушенности керна, выраженной отношением длины каждого куска керна l_k к диаметру керна d_k (l_k/d_k , где l_k — средняя длина куска керна, см; d_k — диаметр керна, см) [21]. 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 подгруппы:

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 не характерно, но возможно и в незначительной степени.

Таблица 2-2

**Характеристика подгрупп пород по трещиноватости
с учетом степени нарушенности керна**

Подгруппа	$K_{уд},$ шт./м	Диаметр керна $d_k,$ см	Средняя длина куска керна $l_k,$ см	Отноше- ние l_k/d_k	Характеристика степени нарушенности керна
1	1—10		20,0	>2,5	Слабо нарушен (длина кусков существенно больше диаметра $l_k \gg d_k$)
2	11—30	2,2—7,3	5,0	0,6—2,5	Наружен (длина кусков в большинстве случаев больше диаметра $l_k > d_k$)
3	≥31		<1,5	<0,6	Сильно нарушен (длина кусков существенно меньше диаметра $l_k \ll d_k$)

Примечание. Данные по керну приведены для бурения коронками диаметром 46—93 мм.

2. Среднетрещиноватые с $K_{уд}=11\div30$ при $l_{к}/d_{к}=0,6\div2,5$. Керн представлен кусочками, длина которых в большинстве случаев больше диаметра керна. В таких условиях возможны явления избирательного истирания, самозаклинивания и эффекта бесшаровой мельницы, причем два последних менее характерны.

3. Сильнотрещиноватые с $K_{уд}>31$ при $l_{к}/d_{к}<0,6$. Керн сильно нарушен, представлен кусочками, длина которых, как правило, меньше диаметра керна. Для таких условий характерны явления избирательного перетирания, самозаклинивания и эффекта бесшаровой мельницы.

Характеристика подгруппы горных пород по трещиноватости приводится в табл. 2-2.

ЭТАЛОННАЯ СХЕМА КЛАССИФИКАЦИИ ГОРНЫХ ПОРОД ПО ТРУДНОСТИ ОТБОРА КЕРНА

Эталонная схема разработана в качестве основы новой классификации горных пород по трудности отбора керна и базируется на структурно-текстурных особенностях и на физико-механических свойствах горных пород с учетом степени их трещиноватости.

Ранее было 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 бурении скважины.

Стабильность геологических факторов в отличие от переменных параметров, 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 конкретном случае.

Выделенные пять групп пород по структурно-текстурным признакам для удобства пользования обозначены буквами, а трещиноватость и физико-механические свойства — цифрами. Это позволяет выделить в схеме для каждой довольно конкретной геологической обстановки при бурении скважины строго определенные поля, которые обозначаются цифрой и буквой (от 1-А до 9-Д), например: 1-Г — 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 средневзвешенные значения выхода керна, полученные путем

Таблица 2-3

Эталонная схема классификации горных пород по труслини отбора керна

Структурно-текстурные признаки горных пород							
	A	Б	В	Г	Д		
Удельная кусковатость керна $K_{уд}$, $шт./м$							
Степень трещиноватости горных пород							
Монолитные и слабореци- новатые	$I_k/d_k > 2,5$ 1—10 при $I_k/d_k > 2,5$ $10,0—22,5$ $2,0—10,0$ $> 22,5$ 4 5 $10,0—22,5$ $2,0—10,0$ $> 22,5$ 7 $10,0—22,5$ $2,0—10,0$ ≥ 31 при $I_k/d_k < 0,6$	1 2 3 4 5 6 7 8 9	1 2 3 4 5 6 7 8 9	65—70 60—65 50—55 45—50 40—45 35—40 20—25 15—20 0—5	70—75 65—70 60—65 55—60 45—50 40—45 25—30 20—25 0—5	80—85 70—75 65—70 60—65 60—65 55—60 55—60 50—55 5—10	90—100 85—90 80—85 75—80 70—75 60—65 60—65 60—65 10—15
Среднетрещи- новатые	$I_k/d_k = 0,6 \div 2,5$	0—20					
Сильнотрещи- новатые							

П р и м е ч а н и е. Динамическая прочность: F_D — обломков и вкраплеников, F_{d2} — цемента или основной массы, F_d3 и F_{d4} — прослоев различной твердости.

математической обработки статистических, экспериментальных и анкетных данных бурения в конкретных условиях.

Общий объем использованных данных о выходе керна в различных группах горных пород составил 549,9 тыс. м, в том числе по экспериментальным данным — 7,3 тыс. м, по данным анкетного опроса — 50,3 тыс. м, по статистическим данным — 492,3 тыс. м. Установлено, что максимальный разброс значений линейного выхода керна при бурении конкретных горных пород в пределах одного поля эталонной схемы не превышает $\pm 5\%$.

Эталонная схема классификации горных пород по трудности отбора керна приведена в табл. 2.3.

КЛАССИФИКАЦИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПО ТРУДНОСТИ ОТБОРА КЕРНА

Для широкого использования в практике геологоразведочного бурения на основе эталонной схемы построена классификация горных пород по трудности отбора керна, в которой все породы подразделены на пять групп по линейному выходу керна с градацией каждой группы через 20 %.

При анализе выхода керна при бурении на твердые полезные ископаемые установлено, что 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 (табл. 2-4).

Выделение в классификации горных пород по трудности отбора керна пяти групп позволяет более строго и дифференцированно выбирать технические средства и технологические приемы бурения для обеспечения кондиционного выхода керна. Очевидно, что выделенные группы требуют совершенно различных технических средств и технологий бурения для повышения выхода керна.

Разработанная классификация и эталонная схема горных пород вместе с приложениями позволяет:

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

Таблица 2-4

Вероятность линейного выхода керна по группам

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

Таблица 2 б

Классификация горных пород по трудности отбора керна

Группа пород	Выход керна, %	Поля эталонной схемы	Характеристика пород по структурно-текстурным признакам		Типичные породы
I	0—20	от А-1 до А-9, Б-8, Б-9, В-9, Г-9, Д-9	Несвязные, рыхлые, размыываемые; связные, неоднородные и однородные, по строению, в основном пережевающиеся по твердости, сильноизрещиноватые, низкой, как исключение средней прочности	Пески, суглинки, галечники, соли, слабые охры, сильноизрещиноватые грубообломочные песчаники на глинистом цементе, сильноизрещиноватые артиллиты и алевролиты, рыхлые, несвязные породы, смешанные с глинистым цементом, конгломераты из слабом цементе, сильноизрещиноватые известняки, мергели, доломиты, раздробленные слабые каменные угли, метаморфизованные раздробленные артиллиты, гравелиты, брекчи, бокситы, сланцы, кварцы-серцит-известковистые сильноизрещиноватые	
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, сильноизрещиноватые, средней и высокой прочности, как исключение среднетрещиноватые низкой прочности	Среднетрещиноватые конгломераты, брекчи, сидерито-глинистые породы, песчаники слабые, крепкие угли сложного строения, коры выветривания никелевых марганцевых и железорудных месторождений, скарпы каверзинные, сильноизрещиноватые рудные зоны гидротермальных месторождений, грубообломочные туфы, туффиты, зоны переслаивания песчаников и аргиллитов	

Продолжение табл. 2-5

№ подсекции	Выход карбона, %	Характеристика пород		Типичные породы
		Полиэталонной схемы	по структурно-текстурным признакам	
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, монолитные и среднетрещиноватые различной прочности, как исключение сильнотрещиноватые высокой прочности	Среднетрещиноватые аргиллиты и алевролиты, плотные глины, песчаники, крепкие угли, филлиты, конгломераты, трепично-ватые кремнистые породы, роговики, мраморы, известняки, доломиты, туффиры, сильнотрещиноватые кварциты, диабазовые порфириты, граниты, гранодиориты, сиениты, пегматиты, базальты, серпентиниты
IV	60—80	Б-1, Б-2, В-1, В-2, В-3, Г-2, Г-3, Г-4, Д-4, Д-5, Д-6	Связные, неоднородные и однородные по строению, в основном однородные по твердости, монолитные различной прочности, как исключение среднетрещиноватые высокой прочности	Плотные песчаники, глины, мергели, известняки, доломиты, слаботрещиноватые серпентиниты, филлиты, роговики, мигматиты, гнейсы, скарны, пироксениты, граниты, гранодиориты, порфириты, линяриты, базальты и диабазы
V	80—100	Г-1, Д-1, Д-2, Д-3	Связные, в основном однородные по строению, однородные по твердости, монолитные различной прочности	Песчаники, аргиллиты, доломиты, известняки, монолитные джеспилиты, кварциты, роговики, гнейсы, яшмы, мраморы, неизмененные граниты, диабазы, порфириты, андезиты, граноселиты, дациты, базальты, перидотиты, липариты, фельзиты

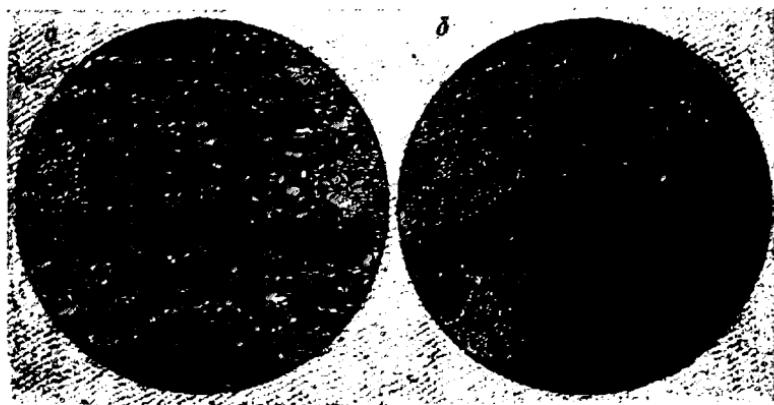


Рис. 2-2. Горные породы I группы (см. табл. 2-5).
 а — сланец биотит-кварц-карбонатный. Без анализатора, увел. 25.
 б — зеленый сланец. Без анализатора, увел. 16.

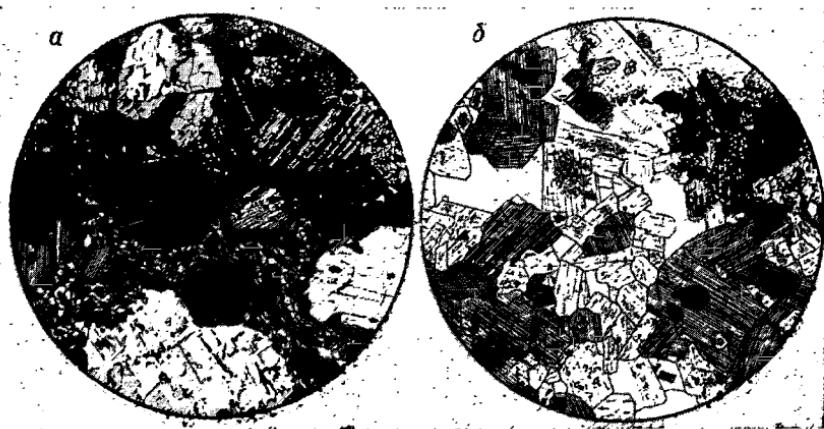


Рис. 2-3. Горные породы II группы (см. табл. 2-5).
 а — гранит катаклизированный. Николи-т., увел. 5.
 б — диорит роговообманковый кварцевый. Без анализатора, увел. 5.

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

Классификация горных пород по трудности отбора керна приведена в табл. 2-5, а на рис. 2-2—2-6 приведены шлифы, по которым наглядно прослеживаются структурно-текстурные и другие петрографические особенности горных пород каждой группы.

Рис. 2-4. Горные породы III группы (см. табл. 2-5).

Филлит (серцицит-кварцевый микросланец): *a* — без анализатора, *b* — николи+, увел. 20.

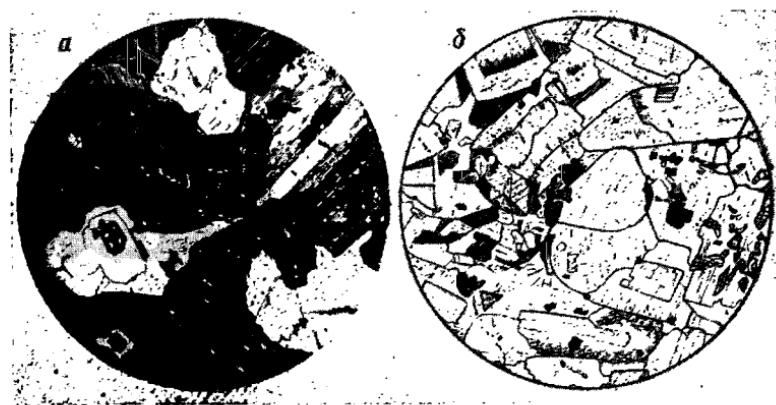
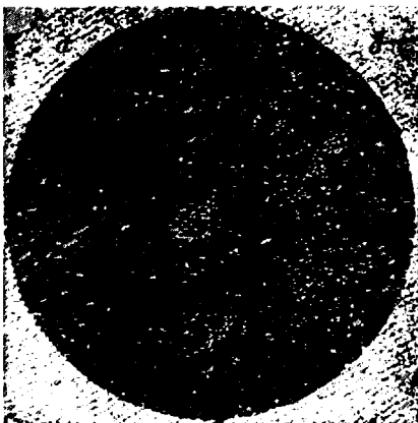


Рис. 2-5. Горные породы IV группы (см. табл. 2-5).

a — гранит биотитовый. Николи+, увел. 5.
b — спенит. Без анализатора, увел. 5.

Основной целью разработанной классификации горных пород по трудности отбора керна является обеспечение возможности научно обоснованного выбора специальных технических средств и методов для получения кондиционного выхода керна в любых геологических условиях. Используя разработанную классификацию горных пород по трудности отбора керна для выбора специальных технических средств, необходимо располагать минимумом дополнительной информации об условиях бурения скважин. В частности, необходимо знать вид полезного ископаемого и название горной породы, в которой необходимо обеспечить кондиционный выход керна и иметь натурный образец этой породы.

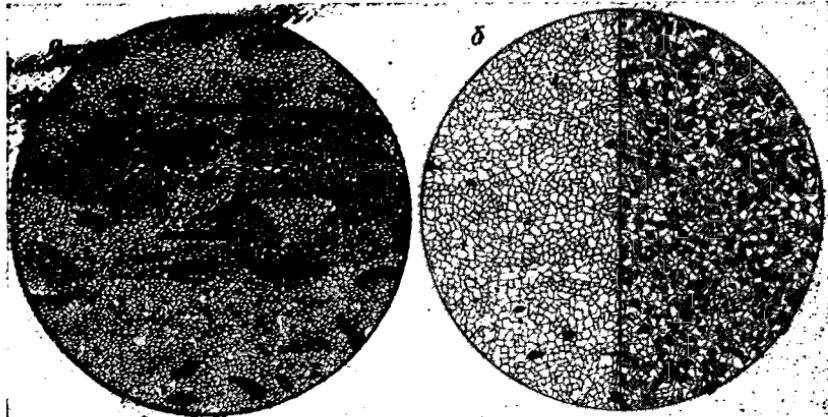


Рис. 2-6. Горные породы V группы (см. табл. 2-5).

a — роговик пироксен-плагиоклазовый. Без анализатора, увел. 10.
b — микрокварцит. Без анализатора (слева), николи+ (справа), увел. 20.

Определение группы пород по структурно-текстурным признакам и выявление соответствующего поля эталонной схемы по геологическим характеристикам конкретной горной породы производится по виду полезного ископаемого и названию горной породы.

Следующим этапом определения группы горной породы является установление физико-механических характеристик и степени трещиноватости имеющегося образца горной породы. Физико-механические свойства горной породы характеризуются объединенным показателем динамической прочности и абразивности ρ_m .

Степень трещиноватости горной породы оценивается по методу, предложенному ВИТР (по удельной кусковатости керна $K_{уд}$, полученного при бурении конкретной горной породы).

Полученные фактические значения объединенного показателя ρ_m и степени трещиноватости позволяют совершенно четко и однозначно отнести исследуемую горную породу к соответствующей граfe физико-механических характеристик эталонной схемы классификации горных пород по трудности отбора керна.

На пересечении соответствующих граф эталонной схемы с буквенной и цифровой индексацией выделяют поле эталонной схемы с геологическими и физико-механическими характеристиками, соответствующими исследуемой горной породе. В найденном поле эталонной схемы указан линейный выход керна в процентах, который обеспечивается при бурении исследуемой горной породы при заданных технических условиях и технологических режимах.

Таблица 2-6

Зависимость выхода керна от диаметра коронки и промышленно-генетического типа месторождений, по данным Н. Г. Ремчук

Промышленно-генетические типы (число месторождений)	Средний линейный выход керна B_K , %, при диаметре коронки, мм					
	76	59	Раз- ность	59	46	Раз- ность
Метаморфические, железистые кварциты (5)	77	73	-4	76	69	-7
Колчеданные (9)	83	72	-11	73	61	-12
Скарновые (12)	83	73	-10	76	69	-7
Стратiformные, осадочно-вулканогенные (10)	83	74	-9	75	66	-9
Кварц-сульфидные (15)	78	68	-10	73	65	-8
Магматические (14)	84	75	-9	78	71	-7
Грейзеновые, сульфидно-кварцевые (10)	83	68	-15	73	61	-12
Гидротермальные штокверковые (14)	73	63	-10	62	51	-11
Гидротермальные жильные (12)	80	68	-12	69	54	-15
Итого (101)	80	70	-10	72	62	-10

Указанный линейный выход керна при бурении в стандартизованных условиях по данной породе позволяет отнести горную породу к одной из пяти групп разработанной классификации горных пород по трудности отбора керна.

Эталонная схема и классификация горных пород по трудности отбора керна построены по данным бурения коронками диаметром 59 мм. Комплексы горно-геологических условий I и II групп классификации требуют бурения коронками диаметром 76 мм и более (при прочих равных условиях выход керна повышается на 5—15 % при переходе на следующий диаметр) (табл. 2-6); диаметр бурения 46 мм следует использовать при бурении только в породах III—V групп. Кроме того, применяемый диаметр породоразрушающего инструмента определяется такими факторами, как вид полезного ископаемого, изменчивость содержания полезных компонентов, стадия геологоразведочных работ и рядом других.

Области применения скважин малых диаметров при поисках и разведке месторождений рудных полезных ископаемых приводятся в табл. 2-7.

При разведке нерудных полезных ископаемых и стройматериалов, как правило, используются технические средства диаметром 76 мм и более.

Для каждой из пяти групп классификации приводятся рекомендуемые апробированные специальные технические средства и методы, позволяющие получить кондиционный выход керна в породах данной группы.

Таблица 2-7

Области применения скважин малых диаметров при поисках и разведке месторождений черных, цветных, благородных и редких металлов, по данным Н. Г. Ремчука

Группа месторождений и значение коэффициента вариации содержания полезных компонентов, %	Общие поиски	Детальные поиски	Поисково-оценочные работы	Предварительная разведка	Детальная разведка
			Поисково-оценочные работы	Предварительная разведка	
I до 40	Картрирование (59; 46), поиски рудных тел (46)	Поиски, вскрытие и прослеживание рудных тел по простиранию (59; 46); изучение геологического разреза (59; 46)	Поиски, оконтуривание, оценка качества и количества руды (прогнозные запасы) (59; 46)	Структурное карттирование флаглов, поиски, оконтуривание, опробование, подсчет запасов (46); технологическое опробование (59)	Подсчет запасов (46), изучение площацей под отвалы (46; 59)
II 40–100	Картрирование (59), поиски рудных тел (59; 46)	Структурное картирование (59), поиски и прослеживание рудных тел	Оконтуривание, опробование, оценка качества (59; 46)	Поиски слепых и смешанных частей рудных тел, оконтуривание, опробование (59; 46); технологическое опробование (59)	Полное пересечение рудных тел по падению и простиранию (46), оконтуривание, опробование (46), изучение площацей под отвалы (46; 59)

Группа месторождений и значение коэффициента вариации содержания полезных компонентов, % ^a	Общие поиски	Детальные поиски	Поисково-оценочные работы	Предварительная разведка	Детальная разведка
				Приемы	Приемы
III 100—150	Картирование (59), поиски рудных тел (59)	Прослеживание рудных тел (59; 46), изучение геологического разреза (59; 46)	Оконтуривание, опробование (59); предварительная оценка запасов (59); определение направления горных выработок (46, 59)	Оконтуривание, опробование (59); определение положения рудных тел в пространстве (59; 46); изучение флангов и глубоких частей рудных тел (59; 46)	Оконтуривание (59; 46), опробование (59); изучение флангов и глубоких частей рудных тел (59; 46)
IV более 150	Поиски рудных тел (59)	Прослеживание рудных тел (59), изучение геологического разреза (59)	Определение направления горных выработок, оконтуривание (59)	Изучение флангов и глубоких горизонтов месторождения (59); определение направления горных выработок (59; 46)	Оконтуривание, опробование (59), изучение глубоких горизонтов и флангов месторождения (59); определение направления горных выработок (46; 59); изучение деталей строения рудных тел (46; 59)

^a Примечание. В скобках дан диаметр бурения.

Пример работы с классификацией горных пород по трудности отбора керна.

Заданные условия: образец породы — песчаник крупнозернистый с глинистым цементом, размеры обломков >2 мм.

Схема работы.

1. По лабораторным исследованиям определяем: $\rho_m = 19,5$;

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

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

2. По данным лабораторных исследований и по заданным условиям относим данную породу по общей геологической характеристике в графу В эталонной схемы (табл. 2-3), а по физико-механическим характеристикам в строку 8 указанной 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 данная порода попадает во II группу классификации горных пород по трудности отбора керна (табл. 2-5).

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

ФАКТОРЫ ПРОЦЕССА КЕРНООБРАЗОВАНИЯ

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ПРОЦЕСС КЕРНООБРАЗОВАНИЯ

Основной целью геологоразведочного бурения скважин в конечном итоге является получение представительных проб полезных ископаемых и горных пород, которые не только дают сведения о геологическом строении, форме, размере рудных тел, но и помогают оценить горно-технические условия эксплуатации.

В связи с этим становится очевидным, какое большое значение имеет качество и количество керновых проб, получаемых в процессе бурения. Однако на выход керна оказывает большое влияние целый ряд факторов. Установление их является важнейшей задачей исследования процесса кернообразования, происходящего в сложной системе инструмент — порода в условиях динамического изменения ее состояния. В общей сложности в литературе упоминается более пятидесяти различных факторов, в той или иной мере влияющих на процесс кернообразования [6—8, 11, 12, 14—16, 24—27, 29—32]. По мнению многих исследователей [14, 27, 28, 29, 30, 31 и др.], все эти факторы могут быть объединены в четыре основные группы: геологические, технические, технологические, организационные.

При этом к организационным факторам относят следующие:

- оперативность геологической службы по уточнению проектного геологического разреза;
- система контроля за соблюдением технологического режима бурения;
- квалификация бурового и геологического персонала;
- связь буровых с базами участка, партии, экспедиции;
- обеспеченность транспортными средствами, а также полное и своевременное материально-техническое обеспечение работ;
- диспетчеризация работ;
- меры поощрения и наказания, способствующие повышению качества кернового опробования месторождения.

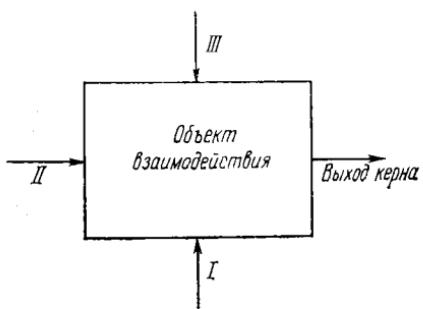


Рис. 3-1. Обобщенная схема взаимодействия факторов кернообразования и динамической пары горная порода — породоразрушающий инструмент.

I—III — факторы кернообразования:
I — геологические, II — технические,
III — технологические.

Так как все они в целом направлены на снижение отрицательного воздействия факторов прочих групп, выделять в качестве факторов кернообразования организационные, на наш взгляд вряд ли целесообразно. Поэтому в дальнейшем процесс кернообразования будет рассматриваться как силовое динамическое взаимодействие в системе породоразрушающий инструмент — горная порода под действием факторов трех первых групп (рис. 3-1).

Большинством авторов эти факторы только упоминаются, а подробной развернутой характеристики применительно к проблеме выхода керна подвергается один-два фактора, на основе которых и делаются выводы. Особенно это относится к анализу геологических факторов. Наиболее полной в этом плане является работа С. С. Сулакшина [15], в которой приведен анализ каждой из геологических характеристик, однако автор нечетко разграничивает минеральный состав, структуру и текстуру пород и не приводит данных об объемах исследований, на основе которых можно было бы сделать обоснованные выводы о степени влияния этих факторов на формирование керна в процессе бурения.

При анализе влияния различных факторов, упоминающихся в литературе, было отмечено, что одни из них взаимно исключают друг друга, а влияние других настолько незначительно, что их воздействием на процесс кернообразования можно пренебречь. По степени влияния на процесс кернообразования авторами проанализированы 33 фактора, которые разделены на три группы: геологические (неуправляемые и неизменяемые в процессе бурения); технические (управляемые, но неизменяемые в процессе бурения); технологические (управляемые и изменяемые в процессе бурения). Схема факторов, влияющих на процесс кернообразования, приведена на рис. 3-2.

Очевидно, что указанные факторы действуют на процесс кернообразования одновременно с преобладающим значением одного или нескольких из них в данный момент. Поэтому рассматривать каждый из них следует с учетом остальных. Однако

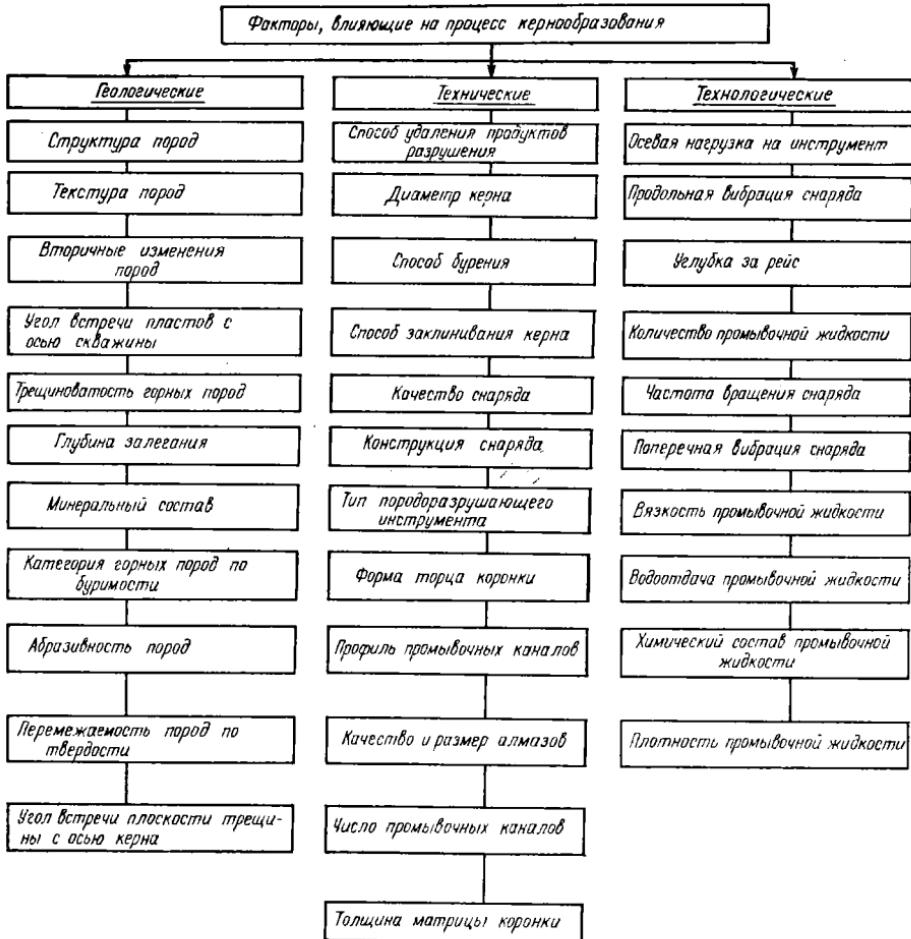


Рис. 3-2. Схема факторов, влияющих на процесс кернообразования.

геологические факторы характеризуются постоянными, неизменными признаками, действие которых можно усилить или уменьшить за счет рационального изменения управляемых факторов. По мнению некоторых авторов [10, 11, 15, 16, 31], отрицательное воздействие этих трех групп факторов на процесс формирования керна при бурении выражается в следующем.

Геологические факторы обусловливают:

- потерю связи между зернами или отдельными участками керна;
- разрушение и истирание мягких прослоев и участков;
- разрыхление или уплотнение пород;

- растворение или выщелачивание минералов;
- растяжение мерзлых пород.

Технические факторы вызывают:

- деформацию и механическое разрушение керна (сколывание, дробление, самозаклинивание);
- истирание по боковой поверхности или плоскости напластования, по трещинам, прожилкам;
- размывание керна;
- уменьшение диаметра керна и его прочности.

Технологические факторы вызывают:

- механическое разрушение керна за счет вибрации, толчков и ударов снаряда, а также за счет действия промывочной жидкости, уменьшение диаметра керна и его прочности;
- растворение керна в промывочной жидкости;
- вынос мелких частиц потоком промывочной жидкости или воздуха;
- выпадение и разрушение кусков керна при расхаживании снаряда;
- потери керна при его подъеме.

ОЦЕНКА ЗНАЧИМОСТИ ФАКТОРОВ КЕРНООБРАЗОВАНИЯ

Влияние факторов на процесс кернообразования весьма трудно поддается количественной оценке. Поэтому возникает необходимость в установлении качественной взаимосвязи между факторами для выделения среди них тех, которые имеют первостепенное значение в этом процессе. Для выявления значимости фактора был применен метод экспертных оценок, нашедший широкое применение в области социологических исследований ввиду своей простоты и оперативности [33].

Согласно теории априорного моделирования метод экспертных оценок включает следующие этапы: формирование конкретной цели исследования, выбор экспертов, выбор метода опроса, разработку опросного листа, обработку результатов опроса. К опросу следует привлекать экспертов, принадлежащих к возможно большему числу различных научных направлений в соответствующей области. Необходимое условие — компетентность эксперта в исследуемом вопросе.

Для измерения качественной информации используется метод ранжирования, т. е. расположение исследуемых факторов в порядке убывания свойств, им присущих. Метод обычно применяется, если число ранжируемых элементов n не превышает 15. Объектам, имеющим одинаковые ранги, приписывается ранг, равный среднему значению мест, которые объекты поделили между собой в ранжировке с совпавшими рангами.

Матрица рангов

Эксперты	Объекты			
	1	2	i	n
1	X_{11}	X_{12}	X_{1i}	X_{1n}
2	X_{21}	X_{22}	X_{2i}	X_{2n}
\ddots	\ddots	\ddots	\ddots	\ddots
j	X_{j1}	X_{j2}	X_{ji}	X_{jn}
\ddots	\ddots	\ddots	\ddots	\ddots
m	X_{1m}	X_{2m}	X_{im}	X_{nm}
$\sum_{i=1}^m X_{ji}$	$\sum_{i=1}^m X_{i1}$	$\sum_{i=1}^m X_{i2}$	$\sum_{i=1}^m X_{ji}$	$\sum_{i=1}^m X_{jn}$

Если n элементов обладают свойством X , то сумма рангов

$$\sum_{i=1}^n X_i = n(n+1)/2, \quad (3-1)$$

где X_i — ранг i -го элемента среди остальных $(n-1)$ элементов.

Результаты опроса экспертов сводятся в матрицу рангов (табл. 3-1). При этом ответ j -го эксперта на i -й вопрос анкеты обозначается через X_{ji} .

В итоговой строке приведена суммарная ранжировка

$$\sum_{i=1}^m X_{j1}, \quad \sum_{i=1}^m X_{j2}, \quad \dots, \quad \sum_{i=1}^m X_{jn}.$$

Средний ранг в этом ряду составляет: $a = (1/2)m(n+1)$, где m — число экспертов.

Согласованность экспертов при ранжировании n объектов по степени обладания свойством X определяется коэффициентом конкордации

$$W = S/S_{\max} = 12S/[m^2(n^3 - n)], \quad (3-2)$$

где $S = \sum_{i=1}^m \left\{ \sum_{j=1}^m (X_{ij}) - \frac{1}{2} m(n+1) \right\}^2$ — сумма квадратов разности между членами суммарной ранжировки и членами ряда, составленного из средних значений. $S = S_{\max}$, если ранжировки у всех экспертов одинаковы. Пределы изменения коэффициента конкордации $0 \leq W \leq 1$,

Если в ранжировках присутствуют совпадающие ранги, то

$$W = S / \left[(1/12)m^2(n^3 - n) - m \sum_{j=1}^m T_j \right], \quad (3-3)$$

где $T_j = (1/12) \sum_{i=1}^n (t_i^3 - t_i)$, t_i — число повторений i -го ранга в j -м ряду.

Для оценки значимости W используется X^2 -распределение с числом степеней свободы $\varphi = n - 1$. X^2 определяется по таблице X^2_{kp} -распределений при заданном уровне значимости α и φ [33]. Метод математического ранжирования был применен в данном случае для оценки степени влияния отдельных факторов на процесс формирования керна.

Для проведения экспертной оценки разработанной схемы факторов, влияющих на процесс кернообразования, была составлена анкета. Опрос экспертов проводился раздельно по каждой группе факторов. Число факторов в каждой группе не превышало 15.

В данном случае общее число факторов n по группам составило:

I группа (геологические факторы) — $n = 11$,

II группа (технические факторы) — $n = 12$,

III группа (технологические факторы) — $n = 10$.

В качестве экспертов были привлечены специалисты различных лабораторий института, занимающиеся вопросами кернообразования. В задачу экспертов входило присвоение каждому фактору в группах соответствующего ранга от 1 до n в соответствии с убыванием их влияния на процесс кернообразования.

В случае одинакового, по мнению эксперта, влияния двух или более факторов этим факторам присваивался одинаковый ранг. В качестве примера приводится обработка результатов экспертной оценки факторов геологической группы.

Результаты опроса по этой группе факторов были сведены в преобразованную матрицу рангов (табл. 3-2), на основании которой производились дальнейшие расчеты.

I группа — факторы геологические: число факторов $n = 11$, число экспертов $m = 9$.

Средний ранг

$$a = (1/2)m(n + 1) = 54;$$

$$S = \sum_{j=1}^m \left\{ \sum_{i=1}^m (X_{ij}) - (1/2)m(n + 1) \right\}^2 = 4683.$$

Коэффициент конкордации

$$W = 0,53;$$

$$X^2 = m(n - 1) W = 47,7$$

Таблица 3-2

Преобразованная матрица рангов I группы (геологические факторы)

Эксперт	Номер параметра										t_i
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	9,5	9,5	9,5	11	4,5	1	3	7	7	2	4,5
2	9	8	5	15	3	1	10,5	6,5	6,5	4	2 + 3 + 2
3	3	4	5	8	9	1	10	5	7	2	2 + 2
4	5	5	5	7	9	5	9	2	11	6	0
5	6	6	4	4	7,5	1	11	3	11	2	3 + 3
6	4,5	4,5	7	7	9,5	1	10	3	10	9	2
7	4,5	9,5	2,5	9,5	7	2,5	11	6	8	2	2 + 2 + 3
8	6	11	8	6	4	1	4,5	4,5	10	7	4,5
9	8	9	4	4			11	7	5	10	2
S	2,25	132,25	6,25	72,25	1560,25	676,0	100,0	132,25	930,25	961,0	110,25
$\sum_{j=1}^m X_{ji}$	55,5	65,5	56,5	62,5	14,5	80,0	44,0	65,5	84,5	23,0	43,5

По таблице X^2 -распределений для $\alpha=0,01$ и $\varphi=n-1=10$ определяем $X_{\text{т}}^2=23,2$.

Так как $X_{\text{т}}^2 < X^2$, принимаем гипотезу о согласованности мнений экспертов. Аналогичные расчеты проведены для технической и технологической групп факторов.

В результате опроса экспертов факторы кернообразования получили следующие суммы рангов.

I группа. Геологические факторы

Трещиноватость горных пород	14,5
Перемежаемость пород по твердости	23,0
Угол встречи плоскости трещины с осью керна	43,5
Минеральный состав пород	44,0
Структура пород	55,5
Вторичные изменения пород	56,5
Угол встречи пластов с осью скважин	62,5
Текстура пород	65,5
Категория пород по буримости	65,5
Глубина залегания пород	80,0
Абразивность пород	84,5

II группа. Технические факторы

Диаметр керна	30,0
Конструкция снаряда	34,5
Способ бурения	35,0
Способ заклинивания керна	43,0
Способ удаления продуктов разрушения	46,5
Тип породоразрушающего инструмента	54,5
Качество снаряда	55,0
Толщина матрицы коронки	69,5
Форма торца коронки	69,5
Профиль промывочных каналов	86,5
Качество и размер алмазов	87,5
Число каналов	91,5

III группа. Технологические факторы

Поперечная вибрация снаряда	24,0
Количество промывочной жидкости	31,5
Продольная вибрация снаряда	31,5
Осьевая нагрузка на инструмент	32,5
Углубка за рейс	35,5
Частота вращения снаряда	40,0
Водоотдача промывочной жидкости	69,0
Вязкость промывочной жидкости	71,5
Плотность промывочной жидкости	79,5
Химический состав промывочной жидкости	80,0

В соответствии с полученной итоговой ранжировкой факторов представляется целесообразным для упорядочения дальнейшего изучения факторов с количественной точки зрения выделить внутри каждой группы по три подгруппы, отражающие важность влияния факторов, в них заключенных, на процесс кернообразования. При этом предлагается выделить подгруппы

А, В и С (в порядке уменьшения степени влияния), используя следующие выражения:

$$\text{для подгруппы А} \quad \sum_{i=1}^m X_{ji} \leq \frac{2}{3} a; \quad (3-4)$$

$$\text{для подгруппы В} \quad \frac{2}{3} < \sum_{i=1}^m X_{ji} < \frac{4}{3} a; \quad (3-5)$$

$$\text{для подгруппы С} \quad \sum_{i=1}^m X_{ji} \geq \frac{4}{3} a, \quad (3-6)$$

где $\sum_{j=1}^m X_{ji}$ — суммарный ранг фактора согласно ранжировке, a — средний ранг по группе.

По суммарному рангу выделены следующие подгруппы.

Группа геологических факторов.

А. Трещиноватость пород; перемежаемость пород по твердости.

Б. Минеральный состав пород; угол встречи плоскости трещины с осью керна; структура пород; вторичные изменения пород; текстура пород; угол встречи пластов с осью скважины.

С. Категория пород по буримости; глубина залегания пород; абразивность пород.

Группа технических факторов.

А. Диаметр керна; конструкция снаряда; способ бурения.

Б. Способ заклинивания керна; способ удаления продуктов разрушения; тип породоразрушающего инструмента; качество снаряда; толщина матрицы коронки; форма торца коронки.

С. Профиль промывочных каналов; качество и размер алмазов; число каналов.

В группе технологических факторов:

А. Поперечная вибрация снаряда; количество промывочной жидкости; осевая нагрузка на инструмент; продольная вибрация снаряда;

Б. Углубка за рейс; частота вращения снаряда.

С. Водоотдача, вязкость, плотность, химический состав промывочной жидкости.

Следует отметить, что в приведенной классификации в первую очередь необходимо определять количественную характеристику воздействия факторов группы А, так как именно факторы этой группы оказывают наибольшее влияние на процесс образования и сохранения керна.

Метод ранжирования позволил выделить девять важнейших факторов кернообразования. Для подтверждения достоверности полученных выводов в стендовых и производственных условиях были проведены экспериментальные исследования.

СТЕНДЫ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССА КЕРНООБРАЗОВАНИЯ

Исследования факторов кернообразования проводились в ВИТР на двух исследовательских стендах, специально созданных для решения задач, связанных с изучением процесса кернообразования и вопросов кернового опробования, а также для исследований забойных процессов, разработки отдельных элементов технологии бурения и других задач.

Стенд ВИС-3000 (высокооборотный исследовательский стенд, первая модель). Создан на базе электрогидравлического сверла ЭГБЛ-1, от которого использованы рама, шпиндель и гидравлическая система (рис. 3-3).

Техническая характеристика исследовательского стендса ВИС-3000

Номинальный диаметр бурения, мм	26, 36, 46, 59
Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹	0—3000
Привод шпинделя	Электрический плавнорегулируемый от тиристорного преобразователя серии АТР во всем диапазоне частот вращения снайдера
Подача шпинделя	Гидравлическая
Ход шпинделя, мм	700
Максимальное усилие подачи шпинделя, Н	10 000
Номинальная мощность двигателя, кВт	16

Стенд оснащен буровым насосом типа НБ-120/40, обеспечивающим расход промывочной жидкости в пределах 0—120 дм³/мин (0—0,002 м³/с) с рабочим давлением до 400 Н/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.

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. 3-4):

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

— основание 10, на котором размещена рама с буром, электродвигатель с приводом, контрольно-измерительная аппаратура и пульт управления;

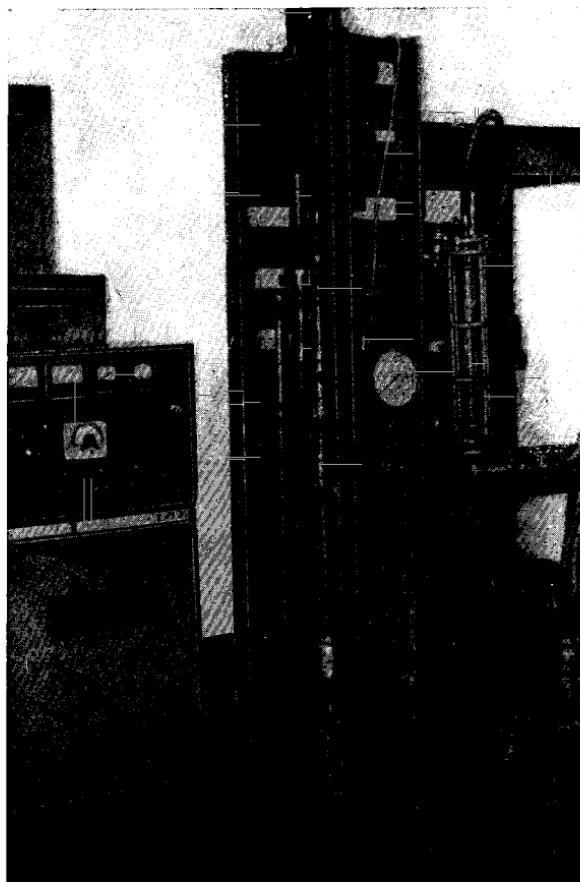


Рис. 3-3. Общий вид исследовательского стенда ВИС-3000.

— бетонная 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 неподвижной 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

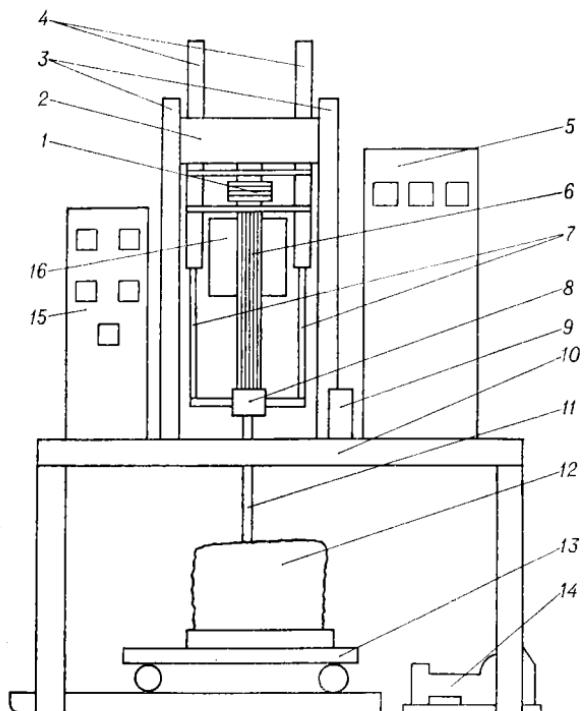


Рис. 3-4. Схема исследовательского стенда ВИС-3000.

1 — ведомый щиков; 2 — неподвижная траверса; 3 — рама; 4 — гидроцилиндры подачи; 5 — тиристорный преобразователь переменного тока в постоянный; 6 — шпиндель; 7 — штоки гидроцилиндров; 8 — промывочный сальник; 9 — маслонасос; 10 — основание стенда; 11 — буровой снаряд; 12 — модельный блок; 13 — тележка; 14 — буровой насос; 15 — приборный щит; 16 — двигатель постоянного тока.

через шпиндель 6 и промывочный сальник 8 буровому снаряду 11. Нижнее расположение промывочного сальника позволяет разгрузить от изгибающих моментов верхний, свободный, конец шпинделя.

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

На приборном щите 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 закреп-

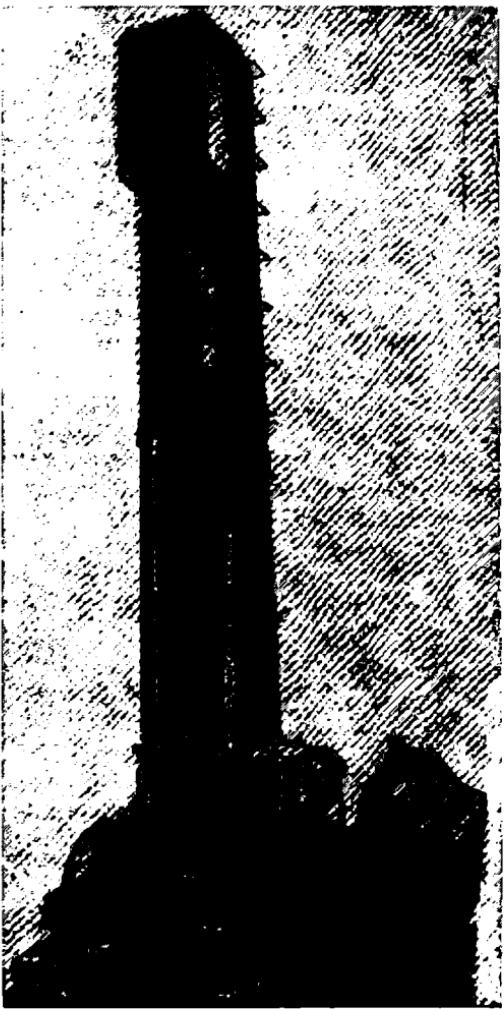


Рис. 3-5. Общий вид стенда ВИС-3000 М.

ляют на площадке с помощью винтов. Площадку можно перемещать по направляющим в поперечном направлении с помощью винта и маховика.

В связи с разработкой второй усовершенствованной модели высокооборотного исследовательского стенда ВИС-3000М стенд ВИС-3000 стал использоваться только для исследований процесса кернообразования. Стенд дополнительно оснащен специальной контрольно-измерительной аппаратурой и оснасткой, позволяющей изучать глубинные микропроцессы кернообразо-

вания, в том числе по новой оригинальной методике, предусматривающей бурение в прозрачных средах с применением для фиксации процесса скоростной киносъемки. В соответствии с новым функциональным назначением стенд получил при аттестации новое название — ИПК-1.

Стенд ВИС-3000М (высокооборотный исследовательский стенд, 3000 мин⁻¹).

Создан в ВИТР для выполнения работ, связанных с исследованиями процесса кернообразования, а также для решения широкого круга задач, связанных с исследованием забойных процессов бурения и разработкой отдельных элементов технологии алмазного бурения с частотой вращения бурового снаряда до 3000 мин⁻¹ (рис. 3-5).

Стенд позволяет также опробовать макетные и опытные образцы технологического и алмазного породоразрушающего инструмента при бурении естественных и искусственных блоков горных пород, размещенных в специальном зумпфе ниже стендса на подвижном устройстве.

Техническая характеристика исследовательского стендса ВИС-3000М

Номинальный диаметр бурения, мм 36, 46, 59 и 76;

Частота вращения шпинделя, мин⁻¹:

при диаметре бурения 76 мм 0—1000

при диаметрах бурения 36, 46, 0—3000

59 мм

Привод шпинделя

Электрический плавнорегулируемый от тиристорного преобразователя серии АТЭЗ-250/460 во всем диапазоне частот вращения снаряда до 20 000 (при частоте вращения до 3000 мин⁻¹), до 30 000 (при частоте вращения до 1600 мин⁻¹)

Максимальное усилие подачи шпинделя, Н

Гидравлическая

Подача шпинделя

1800

Ход шпинделя, мм

32

Номинальная мощность двигателя, кВт

Стенд оснащен буровым насосом типа НБ-120/40, обеспечивающим расход промывочной жидкости в пределах 0—120 дм³/мин (0—0,002 м³/с) с рабочим давлением до 400 Н/см² (3,92 МПа). Тип промывочной жидкости — вода, глинистый раствор, эмульсии.

Стенд оборудован контрольно-измерительной и регистрирующей аппаратурой. Управление работой стендса — дистанционное с электрогидравлического пульта.

Стенд состоит из следующих основных узлов и систем (рис. 3-6):

— бурового блока, в котором размещены все основные исполнительные механизмы;

- электрогидравлического пульта управления;
- механизма закрепления и перемещения блоков горных пород;
- системы контрольно-измерительной аппаратуры;
- промывочной системы с насосом НБ-120/40.

Буровой блок состоит из рамы 19, станины 15 и сварной мачты 2.

Крутящий момент алмазной коронки 17 передается через буровой снаряд 16 и ведущую трубу 12 от электромотора постоянного тока 6, установленного на подвижном вращателе 7. От поперечных вибраций ведущая труба защищена лафетными устройствами 11, закрепленными на мачте. Внутри лафета находятся стальные втулки, центрирующие ведущую трубу.

Возвратно-поступательное движение бурового снаряда обеспечивается двумя гидроцилиндрами 13, перемещающими подвижный вращатель по двум направляющим 4 и 5.

Питание гидросистемы осуществляется от маслобака 18 вместимостью 5 л, рабочая жидкость — масло индустриальное. Привод гидросистемы осуществляется лопастным насосом 22, образующим вместе с асинхронным электродвигателем 21 отдельный узел. Промывочная жидкость для бурения подается от насоса НБ-120/40 через подвижный вращатель, в котором имеется специальное сальниковое устройство.

Перемещение стенда от скважины в поперечном направлении относительно блока горных пород производится гидроцилиндром 20, перемещающим станину 15 по направляющим рамы 19. Для продольного перемещения блока горных пород относительно оси стенд в зумпфе смонтирован гидравлический механизм перемещения блоков горных пород, управляемый с общего пульта. В пульте смонтирован распределительный блок для подачи масла либо в цилиндры подачи бурового инструмента 13, либо в цилиндры захватов 23, либо в цилиндр перемещения бурового блока 20.

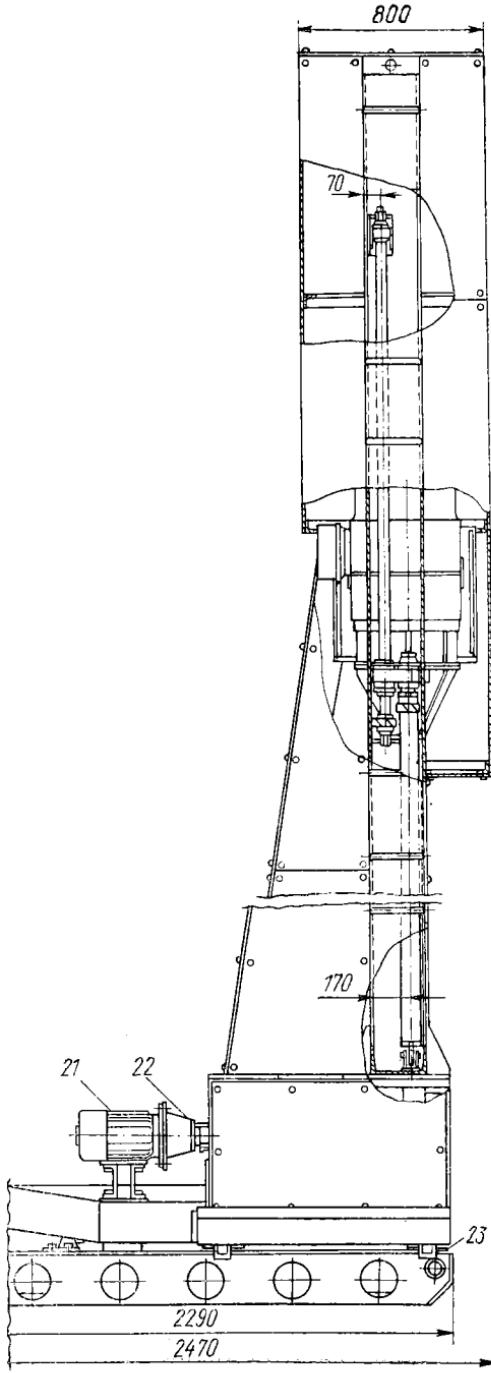
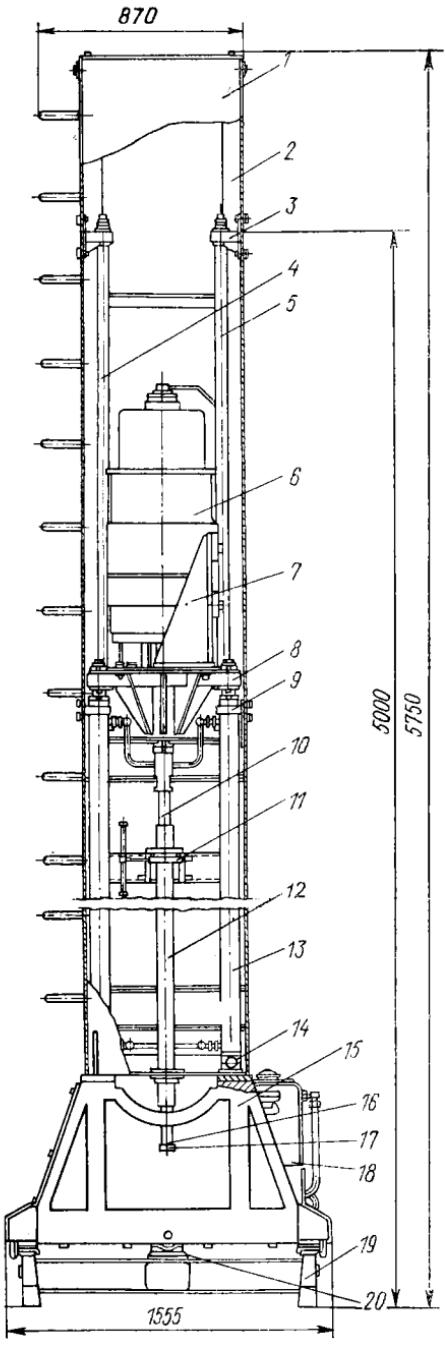
Для предохранения системы от перегрузок установлен предохранительный клапан с золотниками. Золотники с электрогидравлическим управлением образуют блок регуляторов подачи и давления.

Магнитные пускатели, расположенные на пульте, позволяют включать и выключать вращатель, маслонасос, буровой насос и контрольно-измерительную аппаратуру.

Частота вращения бурового снаряда регулируется тахогенератором по показывающему прибору Р-1.

Контрольно-измерительная аппаратура позволяет контролировать, измерять и записывать следующие параметры:

- осевую нагрузку на инструмент;
- расход и давление промывочной жидкости;
- частоту вращения бурового снаряда;



— крутящий момент.

Созданные в ВИТР исследовательские стены ИПК-1 и ВИС-3000 М позволили в сочетании с максимальным использованием возможностей прямых экспериментов в производственных условиях провести широкий комплекс исследований влияния различных факторов процесса кернообразования на выход керна и его качество при геологоразведочном бурении.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ПРОЦЕСС КЕРНООБРАЗОВАНИЯ

Влияние фактора трещиноватости горных пород. В литературных источниках, посвященных вопросам кернообразования, указывается определяющая роль трещиноватости горных пород в процессе получения керна при геологоразведочном бурении, но дается она весьма расплывчно и в известной степени субъективно. В то же время для определения степени влияния трещиноватости пород на выход керна необходимо иметь четкую количественную оценку этого явления. В наших исследованиях эта оценка проведена по удельной кусковатости керна $K_{уд}$ [20], в соответствии с которой все горные породы разделены на следующие группы: I группа — $K_{уд} = 1 \div 5$ шт./м; II — $K_{уд} = 6 \div 10$ шт./м; III — $K_{уд} = 11 \div 30$ шт./м; IV — $K_{уд} = 31 \div 50$ шт./м; V — $K_{уд} = 51$ шт./м и более.

Проведенные исследования [20] показали, что удельная кусковатость керна с достаточной степенью достоверности отражает истинное число трещин на 1 м проходки скважины.

На основании принятого критерия при оценке факторов кернообразования в производственных условиях была установлена степень влияния трещиноватости пород на выход керна при бурении геологоразведочных скважин. Анализ результатов (табл. 3-3) полностью подтвердил полученный ранее методом математического ранжирования вывод о высокой степени влияния трещиноватости горных пород на процесс кернообразования.

Выход керна по комплексу однородных пород, но разной степени трещиноватости изменяется на 30—50 %, причем эта зако-

Рис. 3-6. Кинематическая схема высокооборотного исследовательского стендаВИС-3000 М.

1 — ограждение; 2 — сварная мачта; 3 — узлы крепления направляющих; 4—5 — направляющие; 6 — электромотор постоянного тока; 7 — подвижный вращатель; 8 — траверса вращателя; 9, 14 — узлы крепления гидроцилиндров; 10 — переходник; 11 — лафетное устройство; 12 — ведущая труба; 13 — гидроцилиндр подачи подвижного вращателя; 15 — станина; 16 — колонковая труба; 17 — алмазная коронка; 18 — маслобак; 19 — рама; 20 — гидроцилиндр перемещения бурового блока; 21 — электродвигатель маслонасоса; 22 — лопастной маслонасос; 23 — гидроцилиндры захватов крепления мачты к раме.

Таблица 3-3

Влияние трещиноватости горных пород на выход керна

Группа пород по трещиноватости	Месторождения							
	Зармитан		Алмалык		Удокан		Кировоград	
Объем бурения, м	Выход керна, %	Объем бурения, м	Выход керна, %	Объем бурения, м	Выход керна, %	Объем бурения, м	Выход керна, %	
I-II ($K_{уд} = 1 \div 10$)	415,6	94,2	128,5	94,2	77,3	78,7	621,8	87,2
III ($K_{уд} = 11 \div 30$)	322,0	82,8	158,5	82,3	122,5	64,1	262,1	75,9
IV ($K_{уд} = 31 \div 50$)	15,6	66,0	37,5	58,7	72,6	50,4	3,4	67,6
V ($K_{уд} \geq 51$)	4,3	62,8	21,5	47,7	110,5	33,2	1,1	45,5
Тип снаряда	ССК-59			Одинарная колонковая труба диаметром 59 мм				

номерность сохраняется и при применении специальных технических средств, например ССК-59, направленных на повышение выхода керна при геологоразведочном бурении.

Влияние трещиноватости горных пород на износ керна исследовалось также в ВИТР на стенде ИПК-1 с использованием специального устройства, включающего колонковую трубу, вращающуюся на неподвижной пяте таким образом, что осевая нагрузка передавалась на снаряд без его продольного перемещения. Колонковая труба заполнялась кусочками керна гранита из расчета $K_{уд}=6$; 15 и 33 шт./м, что соответствует II, III и IV группам классификации горных пород по трещиноватости. В качестве промывочной жидкости применялась техническая вода с расходом $Q=20 \div 120 \text{ дм}^3/\text{мин}$. Частота вращения бурового снаряда была принята постоянной $n=1000 \text{ мин}^{-1}$. В процессе эксперимента определялись диаметр, общая длина, общая масса и общий объем керна. Время эксперимента было установлено равным 30 мин для керна крепких пород типа гранита.

При фиксации результатов износа керна отмечен незначительный износ по длине — близкий к инструментальной ошибке измерения. В связи с этим было принято решение перейти на измерения массы и объема керна. Значения B_{kp} (износ по массе) и B_{kv} (износ по объему), выраженные в процентах, практически совпадают.

Результаты изменения объемного износа керна гранита под воздействием промывочной жидкости в различных группах горных пород по трещиноватости (табл. 3-4) показали, что:

**Результаты исследований износа керна гранита
в зависимости от расхода промывочной жидкости Q
в различных группах горных пород по трещиноватости,
при $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$**

Расход промывочной жидкости $Q, \text{ дм}^3/\text{с}$	Объемный износ керна, %			Число опытов
	II группа пород по трещиноватости, $K_{уд} = 6 \text{ шт./м}$	III группа пород по трещиноватости, $K_{уд} = 15 \text{ шт./м}$	III группа пород по трещиноватости, $K_{уд} = 33 \text{ шт./м}$	
0,33	0	0,15	0,30	15
1,2	0	0,30	0,62	15
2,2	0,15	0,46	1,62	15

— совместное воздействие частоты вращения бурового снаряда и промывочной жидкости на износ керна крепких горных пород весьма незначительно;

— увеличение показателя трещиноватости $K_{уд}$ с 6 до 33 шт./м при общем слабом воздействии фактора расхода промывочной жидкости приводит к изменению износа керна крепких горных пород от 0,15 % до 1,6 %.

Износ керна под воздействием разрушающего фактора (расхода промывочной жидкости) в различных группах горных пород по трещиноватости показан на рис. 3-7.

Влияние фактора перемежаемости горных пород по твердости. На второе место после трещиноватости по значимости в группе геологических факторов методом математического ранжирования выведен фактор перемежаемости пород по твердости. Из практики геологоразведочного бурения известно, что при бурении скважин в зонах перемежаемости пород по твердости возникает эффект избирательного истирания слабых пород более твердыми, что приводит зачастую к полному истиранию слабых пород и соответственно к существенному уменьшению выхода керна. Эффект избирательного дробления и истирания тем выше, чем больше разность между прослойками породы по прочностным характеристикам.

Экспериментальные исследования влияния перемежаемости пород по твердости на выход керна при геологоразведочном бурении были проведены на высокооборотном стенде ВИС-3000 М. Исследования проводились при бурении блоков естественных пород (красный гранит, прочность на сжатие $\sigma_{ск} = 32\,000 \text{ Н/см}^2$), взятых в качестве базы сравнения, и специально смоделированных блоков, представленных прослойями

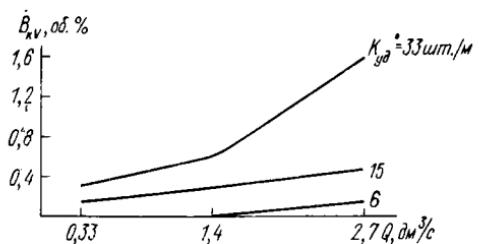


Рис. 3-7. Зависимость объемного износа керна B_{kv} от расхода промывочной жидкости Q для различных значений удельной кусковатости керна K_{ud} .

щебня красного гранита и цементного камня (прочность на сжатие $\sigma_{сж} = 4200 \text{ Н/см}^2$).

Бурение производилось на частотах вращения бурового снаряда от 500 до 3000 мин⁻¹ с шагом через 500 мин⁻¹ при постоянной осевой нагрузке на забой 700 дан.

Результаты, приведенные в табл. 3-5, позволили установить следующее:

Таблица 3-5

Влияние перемежаемости горных пород по твердости на выход керна

Состав модели блока	Тип снаряда	Выход керна, %, при частотах вращения бурового снаряда, мин ⁻¹						Средний выход керна, %, при средневзвешенной частоте вращения снаряда 1500 мин ⁻¹
		500	1000	1500	2000	2500	3000	
Естественный монолит гранита	Одинарный	98	99	99	99	98	99	98,6
	Двойной ТДН-46-УТ	99	99	99	99	99	99	99
Скальные породы 70 % и цементный камень 30 %	Одинарный	68	81	63	66	53	73	67,5
	Двойной ТДН-46-УТ	86	84	85	87	81	55	84,6
Скальные породы 50 % и цементный камень 50 %	Одинарный	70	64	42	38	41	32	51,2
	Двойной ТДН-46-УТ	70	93	55	55	53	67	65,2

П р и м е ч а н и е. Диаметр снаряда 46 мм, объем бурения 6 м, осевая нагрузка 700 дан, количество промывочной жидкости 14 дм³/мин.

— вывод, сделанный на основании метода математического ранжирования, о высокой степени влияния фактора перемежаемости пород по твердости на выход керна при бурении вполне правомерен и с высокой степенью достоверности подтверждается экспериментально. Изменение выхода керна в монолитных и перемежающихся по твердости породах достигает 40—60 %;

— перемежаемость пород по твердости обусловливает понижение выхода керна (20—30 %) в разных блоках даже при использовании специальных технических средств (двойная колонковая труба ТДН-46 УТ), предназначенных для повышения выхода керна.

Влияние фактора «диаметр керна» на его выход. Анализ литературных и практических данных, а также математическая обработка результатов исследований различных авторов методом экспертной оценки позволили установить, что в группе факторов кернообразования, отнесенных к разделу технических, наибольшее влияние на формирование керна оказывает фактор «диаметр керна».

Исследования этого фактора проводились как в стендовых, так и в производственных условиях. В стендовых условиях при бурении монолитных блоков горных пород фактор «диаметр керна» практически не оказывает влияния на выход керна, так как при бурении этих пород даже одинарными колонковыми снарядами малых диаметров (46 и 59 мм) его выход практически приближается к максимальному (100 %). Для исследования степени влияния указанного фактора на выход керна эксперименты проводились на искусственно смоделированных блоках пород, а в производственных условиях при бурении трещиноватых пород, т. е. в таких условиях, где есть возможность оценить разность выхода керна для различных диаметров бурения.

Правомерность выделения фактора «диаметр керна» как одного из основных, влияющих на образование и формирование керна, подтверждают данные, приведенные в табл. 3-6.

Как указывалось выше, в стендовых условиях фактор «диаметр керна» начинает проявляться только при бурении трещиноватых пород, перемежающихся по твердости. Этот вывод, сделанный на основании проведенных в стендовых условиях экспериментов, хорошо согласуется с результатами исследований в производственных условиях. Наиболее четко проявляется зависимость выхода керна от его диаметра при бурении пород IV—V и менее четко I—III групп по трещиноватости.

В работах ряда авторов (В. А. Болотов, В. Е. Шпаков, Н. И. Плеханов, И. Н. Суманеев), посвященных вопросам применения эжекторных колонковых снарядов, указывается, что при бурении этими снарядами геологоразведочных скважин не отмечается влияние фактора «диаметр керна» на его выход. Это

Таблица 3-6

Влияние фактора «диаметр керна» на выход керна

Объект	Тип снаряда	Характеристики пород и группа трещиноватости	Диаметр бурения, мм					
			76		59		46	
			Объем бурения, м	Выход керна, %	Объем бурения, м	Выход керна, %	Объем бурения, м	Выход керна, %
Удоканская ГРЭ	Одинарная труба	Кварцитовидные и известковистые песчаники X—XI категории по буровости I—II группы трещиноватости	47,4	87,6	64,2	86,8	—	—
		III группа трещиноватости	72,8	85,5	76,5	80,5	—	—
		IV группа трещиноватости	10,6	73,5	19,4	58,8	—	—
		V группа трещиноватости	9,3	67,7	5,8	54,7	—	—
Стенд ВИС-3000 М	Двойная труба ТДН-УТ	Модель блока (50 % скального щебня и 50 % цементного камня)	—	—	6,0	85,2	6,0	65,2

объясняется спецификой самой конструкции снаряда, позволяющей получать достаточно высокий выход керна даже в нарушенных трещиноватых породах.

При бурении двойными колонковыми трубами как в стендовых, так и в производственных условиях фактор «диаметр керна» играет существенную роль в процессе образования и последующей сохранности керна в колонковой трубе.

Влияние способа бурения на выход керна. Приведенными ранее исследованиями работоспособности алмазных коронок было установлено, что при переходе с одного способа

бурения на другой существенно меняются основные технико-экономические показатели геологоразведочного бурения, в том числе и выход керна.

В связи с этим в производственных организациях отрасли для получения достоверного объема статистических данных были проведены специальные эксперименты по определению влияния способа бурения на выход керна. Для сопоставления различных способов бурения были выбраны две геологические организации: ПГО «Южукргеология» (дробовой и алмазный способы бурения) и Северо-Кузбасская ГРЭ ПГО «Запсибгеология» (твердосплавный и алмазный способы бурения).

Результаты исследований влияния фактора «способ бурения» на выход керна, приведенные в табл. 3-7, подтверждают правомерность его отнесения в разряд первостепенных технических факторов кернообразования. Переход на другой способ в одинаковых геологических условиях с соблюдением равных технологических параметров приводит к изменению выхода керна до 25 %. Особенно четко эта зависимость проявляется при сопоставлении принципиально различных способов бурения, например алмазного с дробовым.

Влияние конструкции колонкового снаряда на выход керна. Фактор влияния конструкции снаряда на выход керна методом математического ранжирования отнесен к группе А технических факторов. Такая оценка степени влияния данного фактора подтверждается как литературными данными [4–6, 14, 17, 44], так и практикой геологоразведочных работ.

Результаты дополнительно проведенных авторами стендовых и производственных исследований по оценке влияния фактора конструкции колонкового снаряда на выход керна приводятся в табл. 3-8. Они показывают, что принятая методом математического ранжирования оценка правомерна с высокой степенью достоверности.

Применение специальных конструкций колонковых снарядов в слабых, различной степени трещиноватости породах повышает выход керна на 20–30 %, что свидетельствует о высокой степени влияния данного фактора на процесс кернообразования. Применение различных конструкций колонковых снарядов направлено на снижение отрицательного влияния на керн в процессе бурения таких факторов, как размывающее действие потока промывочной жидкости (двойные колонковые снаряды), механическое разрушение керна в колонковой трубе путем его самоистирания и истирания стенками трубы (двойные снаряды с неподвижной внутренней трубой). Однако следует отметить, что при всем многообразии конструкций колонковых снарядов проблемы выхода керна не решаются полностью, снижается влияние далеко не всех факторов группы А. Например, продолжается воздействие таких факторов, как вибрация сна-

Таблица 3-7

Влияние фактора «способ бурения» на выход керна

Геологическая организация	Краткая характеристика пород (категория по буримости)	Способ бурения	Тип колонкового снаряда	Режим бурения		
				n, мин ⁻¹	P, дин	Q, дм ³ /мин
ПГО «Южукреология»	Сланцы кварцево-биотитовые (VIII—IX) аркозовые песчаники и кварциты (X)	Дробовой Алмазный	Одинарная колонковая труба То же	93 76	150 150	500—1000 500—1000
Северо-Кузбасская ГРЭ ПГО «Запсибирология»	Песчаники (IX—X) алверолиты (V—VIII)	Твердо-сплавный Алмазный	Одинарная колонковая труба То же	76	238—576 238—576	700—1200 700—1200

Таблица 3-8

Влияние конструкции колонкового снаряда на выход керна

Геологическая организация и краткая характеристика пород	Тип колонкового снаряда	Режим бурения		
		Осевая нагрузка на инструмент P, дин	Частота вращения спаррида n, мин ⁻¹	Расход промывочной жидкости Q, дм ³ /мин
БИТР, естественный монолит гранита	Одинарная труба диаметром 46 мм Двойная труба ГДН-46-5,0 Двойная труба ГДН-46-У	6 6 6	100 100 100	500—3000 500—3000 500—3000
				14 14 14

ВИТР, искусственный блок пород: скальные 70 %, цементный камень 30 %	Одинарная труба диаметром 46 мм Двойная труба ТДН-46-6,0 Двойная труба ТДН-46-УТ	6 6 6	100 100 100	500—3000 500—3000 500—3000	14 14 14	67,5 65,5 84,6
ВИТР, цементный камень	Одинарная труба диаметром 46 мм Двойная труба ТДН-46-6,0 Двойная труба ТДН-46-УТ	6 6 6	100 100 300—900	500—3000 500—3000 1000	14 14 14	51,2 65,2 66,8
Удоканская ГРП, песчаник XI категории по буримости	Одинарный эжекторный снаряд ОКЭС диаметром 76 мм Двойная труба ТДН-76-УТ	29 11	700 700	500—3000 500—3000	14 14	1,2 0,6
Дукатская ГРЭ, липариты, андезиты, фельзанты, итникимбиты, дациты, аргиллиты, сланцы VI—X категорий по буримости	Одинарная труба диаметром 59 мм Двойная труба ТДН-59-УТ Двойная труба ТДН-59-2 Двойная труба ТДН-59-0	415 403 114 204	600—1300 600—1300 600—1300 600—1300	430—1015 430—1015 430—1015 430—1015	30—50 30—50 30—50 30—50	67,3 89 81 81
Горловская ГРЭ, песчаники VIII—IX категории по буримости	Одинарная труба диаметром 93 мм Двойная труба ТДН-93-2/0 Двойная труба «М» ПНР Эжекторный снаряд ОЭС Эжекторный снаряд ДЭС Снаряд УКН Снаряд СО-2 Снаряд «Д» Лонгир диаметром 76 мм	120 3514 1029 827 619 491 152 49	1000—1600 1000—1600 1000—1600 1000—1600 1000—1600 1000—1600 1000—1600 1000—1600	153—470 153—470 153—470 153—470 153—470 153—470 153—470 153—470	80—120 80—120 80—120 80—120 80—120 80—120 80—120 80—120	60 87 88 84 83 84 92 84

Чертежи обеих

типов обечайки

ряда, резонансное сочетание режимных параметров и ряд других. В каждом конкретном случае применение той или иной конструкции колонкового снаряда должно решаться на основании анализа воздействия на керн доминирующего разрушающего фактора.

Влияние поперечных вибраций колонкового снаряда на выход керна. При анализе результатов исследований влияния технологических факторов на процесс кернообразования обращает внимание незначительное количество работ по установлению степени воздействия вибраций бурового снаряда на формирование и сохранность керна. Наиболее полно эти исследования приводятся только в работах И. Б. Булнаева, рассматривающего действие поперечных и продольных вибраций снаряда на степень разрушения и сохранности керна.

Экспериментальными исследованиями установлено, что такие режимные параметры бурения, как частота вращения бурового снаряда и осевая нагрузка на инструмент в отдельности в стендовых условиях не оказывают превалирующего влияния на выход керна. Однако регулировка этих параметров в заданных пределах приводит к весьма значительному изменению частоты и амплитуды поперечных вибраций бурового снаряда. Таким образом, эти вибрации являются производными от воздействия на забой режимных параметров бурения при недостаточной соосности компонентов бурового снаряда, что в практике наблюдается как постоянный фактор.

Методом математического ранжирования с помощью экспертизы оценок установлено, что поперечные вибрации бурового снаряда являются первостепенными в группе А технологических факторов, влияющих на процесс кернообразования.

При бурении блоков естественных пород на различных частотах вращения снаряда с осевой нагрузкой на инструмент в пределах 500—700 дан на авторами был проведен цикл исследования на стенде ВИС-3000 М (табл. 3-9), оценивающих степень влияния поперечных вибраций на процесс формирования керна. Кроме того, для более полной оценки этого фактора также использованы данные И. Б. Булнаева (табл. 3-10).

Результаты сравнительного бурения в производственных и стендовых условиях показывают, что при бурении с вибрацией снаряда (в скважине) выход керна на 35—40 % ниже, чем при бурении по таким же породам в стендовых условиях (уровень вибраций минимален).

О сильном разрушающем воздействии вибрации бурового снаряда на керн говорят также данные, полученные при бурении с антивибрационными смазками и без них. Как известно, антивибрационная смазка не устраняет полностью вибрацию снаряда, но позволяет значительно (в 1,5—2,0 раза) снизить амплитуду как продольных, так и поперечных вибраций.

Таблица 3-9

Результаты исследований на стенде ВИС-3000 М зависимости выхода керна от амплитуды и частоты поперечных вибраций бурового снаряда

Состав модсия блока горной породы	Место измерения амплитуды и частоты колебаний снаряда	Амплитуда A , мм, и частота H , Гц, колебаний снаряда при частоте вращения, мин ⁻¹												500				1000				1500				2000				2500				3000			
		A				A				A				A				A				A				A											
		A	H	A	H	A	H	A	H	A	H	A	H	A	H	A	H	A	H	A	H	A	H	A	H	A	H										
Естественный монолит гранита	Устье скважины	1,5	10	1,5	16	1,5	28	2,0	33	1,5	43	2,0	48																								
	Забой скважины	0	10	0	16	0,5	28	0,5	33	0,5	43	0,5	48																								
	Выход керна, %	98		99		99		99		99		98															99										
Скальные 50% цементный камень 50%	Устье скважины	1,5	9	2,0	17	2,5	27	2,0	33	2,5	46	3,5	48																								
	Забой скважины	0,5	9	1,0	17	0,5	27	1,5	33	1,0	46	2,0	48																								
	Выход керна, %	70		64		42		38		38		41															32										
Цементный камень 100%	Устье скважины	2,0	10	3,0	17	3,0	25	4,0	33	4,0	45	6,0	50																								
	Забой скважины	2,0	10	2,0	17	3,0	25	2,0	33	2,0	45	3,0	50																								
	Выход керна, %	5		0		0		0		0		1																0									

Таблица 3-10

**Результаты исследований в производственных условиях
зависимости износа керна от частоты и амплитуды поперечных
вибраций бурового снаряда, по И. Б. Булнаеву**

Вид разрушения	Частота вращения снаряда, мин ⁻¹	Частота колебаний снаряда, Гц	Амплитуда колебаний снаряда, мм	Износ керна, %	Характеристика горных пород
Без вибрации	102	—	—	7,0	Мрамор среднезернистый, VI—VII категорий по буримости
	182	—	—	14,7	
	237	—	—	9,3	
С вибрацией	102	7	5—8	34,7	
	182	12	5—8	38,0	
	237	15	5—8	54,5	
Без вибрации	102	—	—	47,0	Песчаник серый, на глинистом цементе, слабый, IV—V категорий по буримости
	182	—	—	51,7	
	237	—	—	75,0	
С вибрацией	102	7	5—8	65,0	
	182	12	5—8	66,4	
	237	15	5—8	84,0	
Без вибрации	102	—	—	1,6	Алевролиты вязкие, плотные, VII—VIII категорий по буримости
	182	—	—	4,3	
	237	—	—	6,0	
С вибрацией	102	7	5—8	2,1	
	182	12	5—8	7,1	
	237	15	5—8	14,3	
Без вибрации	102	—	—	24,0	Цементный камень плотный, V категорий по буримости
	182	—	—	25,0	
	237	—	—	29,0	
С вибрацией	102	7	5—8	68,0	
	182	12	5—8	63,0	
	237	15	5—8	71,0	

Результаты исследований общего влияния вибраций на выход керна при геологоразведочном бурении, и особенно работы И. Б. Булнаева и исследования, проведенные ВИТР на стенде ВИС-3000 М, позволяют сделать вывод о полной правомерности выделения вибраций колонкового снаряда, и особенно по-перечной их составляющей, как основного фактора кернообразования в группе технологических факторов. На выход керна в совокупности влияют как частота, так и амплитуда колебаний бурового снаряда. Возрастание частоты колебаний в 3—4 раза с соответствующим ростом амплитуды приводит к снижению выхода керна при бурении в стендовых условиях на 30—40 %.

Таблица 3-11

**Влияние количества промывочной жидкости на выход керна
в стендовых условиях**

Горная порода	Категория пород по буримости	Удельная кусковатость керна, шт./м	Частота вращения бурового снаряда, мин ⁻¹	Осевая нагрузка на инструмент, даН	Выход керна, %, при количестве промывочной жидкости, дм ³ /мин		
					20	85	100
Красный гранит	XI	6	500	500	92	90	90
		21	500	500	80	80	87
		33	500	500	74	70	65

По данным стендовых исследований установлено также, что монолитные, вязкие, стойкие к ударным нагрузкам породы менее подвержены разрушающему воздействию поперечных вибраций бурового снаряда.

Влияние количества промывочной жидкости на выход керна. Экспертные оценки, обработанные методом математического ранжирования, вывели фактор влияния количества промывочной жидкости на выход керна в группу А технологических факторов кернообразования. Однако следует отметить, что, несмотря на единодушное мнение многих исследователей о безусловном влиянии этого фактора на выход керна [38, 40, 41, 42], практических данных, подтверждающих это, в работах указанных авторов не приводится.

Количество промывочной жидкости играет доминирующую роль в формировании керна при бурении в рыхлых, слабосвязанных и в подверженных химическому воздействию промывочной жидкости (соли и др.) породах. В твердых же горных породах различной степени трещиноватости оно не играет такой существенной роли. Это оценивалось при исследованиях в стендовых и производственных условиях. Так, проведенными на буровом стенде IKS-500 опытами установлено, что увеличение

Таблица 3-12

Объемный износ керна перемежающихся горных пород различной степени трещиноватости в зависимости от расхода промывочной жидкости по данным стендовых исследований

Частота вращения бурового снаряда, мин ⁻¹	Расход промывочной жидкости, дм ³ /мин	Удельная кусковатость керна, шт./м	Объемный износ керна, %	
			общий	мягкой фракции
500	15	10	6,5	13,5
	45	10	12,3	27,7
500	15	20	7,7	18,5
	45	20	14,7	31,3

Таблица 3-13

**Влияние количества промывочной жидкости на выход керна
в производственных условиях (Дукатская ГРЭ)**

Характеристика горных пород	Режим бурения			Объем бурения, м	Выход керна	
	n , мин ⁻¹	P , даН	Q , дм ³ /мин		м	%
Алевролит VII категории по буримости	254—340	1000—1400	30 40	11,0 21,8	10,0 18,1	91,0 83,0
Кварцевый песчаник IX категории по буримости	254—340	1000—1400	50 60	39,0 45,0	28,0 31,0	72,0 69,0

ние количества промывочной жидкости при бурении твердых пород типа гранита не оказывает существенного влияния на сохранность керна в колонковой трубе. Наиболее заметный износ керна наблюдался под воздействием потока промывочной жидкости на керн с удельной кусковатостью 33 шт./м, что соответствует IV группе классификации пород по трещиноватости. Диаметр керна составлял в среднем 32 мм, диаметр бурения 46 мм. Результаты стендовых и производственных исследований влияния количества промывочной жидкости на выход керна приводятся в табл. 3-11, 3-12, 3-13.

Результаты стендовых исследований износа керна показывают, что:

- расход промывочной жидкости при бурении прочных горных пород слабо влияет на выход керна, выступая только в качестве транспортного агента по выносу мелких фракций керна;
- при бурении в перемежающихся горных породах происходит интенсивный избирательный износ менее прочных фракций керна (цементный камень); при этом прочная фракция керна практически не истирается;
- с увеличением расхода промывочной жидкости в 3 раза, износ мягкой фракции увеличивается в 1,4—1,6 раза.

Проведенные исследования позволили подтвердить правомерность вывода о выделении методом математического ранжирования фактора количества промывочной жидкости как одного из важнейших факторов кернообразования.

Влияние осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент на выход керна. Методом математического ранжирования осевая нагрузка на инструмент отнесена к первостепенным технологическим факторам кернообразования (группа А). Она непосредственно воздействует на выход керна, что отмечается в работах многих авторов, способствует появлению ряда эффектов, приводящих к разрушению керна. Во-первых, при имеющейся в практике геологоразведочного бурения несоосности

Таблица 3-14

**Степень влияния осевой нагрузки на выход керна
при бурении в стендовых условиях**

Состав модели блока горной породы	Тип колонкового снаряда	Режим бурения		Выход керна, %, при значениях осевой нагрузки на инструмент, даН			
		n , мин ⁻¹	Q , дм ³ /мин	300	500	700	900
Скальные 50 % и цементный камень 50 %	Одинарная труба Двойная труба ТДН-46-УТ	1000 1000	14 14	74 92	71 95	64 93	58 86

компонентов бурового снаряда возникают поперечные вибрации, отрицательно влияющие на выход керна. Между амплитудой поперечных вибраций и осевой нагрузкой на инструмент существует тесная корреляционная связь. Во-вторых, осевая нагрузка на инструмент приводит к изгибу колонковой трубы с длиной полуволны тем меньшей, чем больше осевая нагрузка, что в конечном итоге приводит к дополнительному излому и самозаклиниванию керна в колонковой трубе.

При проведении исследований по установлению степени влияния фактора осевой нагрузки на процесс формирования и сохранности керна в колонковой трубе авторами проводились экспериментальные работы как в стендовых, так и в производственных условиях. Результаты этих исследований приводятся в табл. 3-14, 3-15, 3-16 и на рис. 3-8.

Анализ данных позволил сделать следующие выводы:

— результаты стендовых и производственных исследований подтверждают вывод о значительном влиянии фактора осевой нагрузки на инструмент на процесс кернообразования;

— влияние осевой нагрузки на инструмент, как, впрочем, и других факторов, наиболее отчетливо проявляется при бурении слабых пород различной степени трещиноватости, т. е. в тех геологических условиях, где заведомо низок выход керна;

Таблица 3-15

**Объемный износ керна гранита в зависимости
от осевой нагрузки на породоразрушающий
инструмент при $n = 500$ мин⁻¹**

Осевая нагрузка на инструмент, даН	Объемный износ керна, %	Число опытов
100	0,9	15
200	1,23	15
300	2,32	15

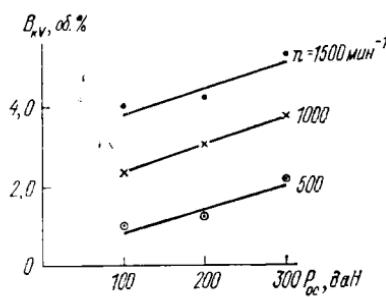


Рис. 3-8. Зависимость объемного износа керна B_{kv} при его самозаклинивании в колонковом снаряде от осевой нагрузки P_{oc} на породоразрушающий инструмент при различной частоте вращения n ($Q = 0,5 \text{ дм}^3/\text{с}$).

— повышение абсолютного значения осевой нагрузки на инструмент в 2—3 раза приводит к уменьшению выхода керна на 20—40 %, что свидетельствует о высокой степени влияния данного фактора на процесс кернообразования.

Влияние продольной вибрации колонкового снаряда на выход керна. Экспертные оценки по методу рангов вывели в группу А технологических факторов кернообразования фактор влияния продольной вибрации колонкового снаряда. По литературным источникам и по данным практики геологоразведочного производства известно, что вибрации в целом оказывают весьма существенное влияние на формирование и сохранность керна. Однако необходимо четко их подразделять на поперечные и продольные. Если поперечные вибрации являются одним из важнейших факторов, способствующих разрушению керна, то продольные, разрушая керн, в некоторой степени способствуют его сохранению, устранивая самозаклинивание. Ис-

Таблица 3-16

Влияние осевой нагрузки на выход керна при бурении
в производственных условиях

Производственная геологическая организация	Характеристика горных пород	Режим бурения		Выход керна, %, по группам пород по трещиноватости при значениях осевой нагрузки на инструмент, дан								
		$n, \text{мин}^{-1}$	$Q, \text{дм}^3/\text{мин}$	I и II группы пород			III группа пород					
				900	1200	1600	800	1200	1600			
ПГО «Кировгеология»	Мигматиты серые, IX—X категорий по буримости	400—600 600—800 800—1000	20—40 20—40 20—40	98 98 98	92 98 96	93 91 92	77 88 83	75 80 77	66 69 68	51 60 62	41 53 46	35 28 15

Примечание. Бурение велось одинарным колонковым снарядом 59 мм. Учен выход керна по рейсам длиной 1—2 м.

Таблица 3-17

**Влияние продольной вибрации колонкового снаряда
на выход керна, по И. Б. Булнаеву**

Характеристика горных пород (категория по буримости)	Частота вращения снаряда, мин ⁻¹	Амплитуда вибраций снаряда, мм	Износ керна, %, при бурении	
			без виб- рации	с продоль- ной виб- рацией
Мрамор среднезернистый (VI—VII)	102	8—15	7,0	29,5
	182		14,7	20,8
	237		9,3	6,5
Песчаник серый, на глинистом цементе (IV—V)	102	8—15	47,0	30,0
	182		51,7	30,0
	237		75,0	27,6
Алевролит плотный (VII—VIII)	102	8—15	24,0	24,4
	182		25,0	11,8
	237		29,0	7,1
Цементный камень (V)	102	8—15	24,0	61,5
	182		25,0	51,2
	237		29,0	30,0

следования влияния продольных вибраций бурового снаряда на сохранность керна осуществлены с учетом данных И. Б. Булнаева (табл. 3-17) на стендах ВИТР.

При воздействии на керн продольных колебаний износ керна уменьшается с увеличением частоты колебаний снаряда, что свидетельствует о снижении степени разрушения керна под действием таких колебаний. В результате стендовых исследований, проведенных авторами, и по данным И. Б. Булнаева установлено, что продольные колебания оказывают двойное влияние на процесс кернообразования:

— воздействие продольных вибраций приводит к дополнительному разрушению керна под торцом коронки и соответственно к снижению его выхода;

— ликвидация самозаклиниваний керна в колонковой трубе, приводит к улучшению сохранности керна.

Авторами были также проведены стендовые исследования воздействия высокочастотных продольных ударных импульсов на выход керна при гидроударно-алмазном бурении. В результате установлено, что при указанных импульсах самозаклинивание керна в колонковой трубе хотя и имеет место, но площадки слабо обработаны, что свидетельствует о малых усилиях

и о кратком времени существования явлений самозаклинивания по сравнению с вращательным бурением в тех же условиях. С другой стороны, качество керна при воздействии продольных ударных нагрузок ухудшается по сравнению с вращательным бурением из-за его повышенного дробления. Отмечено, что дробление коронками диаметром 76 мм в комплекте с гидроударными машинами типа ГВ-5 (гидроударник высокочастотный) существенно меньше, чем коронками диаметром 59 мм в тех же условиях. Это объясняется уменьшением отношения размеров зоны ударных деформаций породы под торцом коронки к диаметру получаемого керна.

Из вышеизложенного следует, что выделение фактора влияния продольных вибраций на сохранность керна в группу А технологических факторов, произведенное методом математического ранжирования, вполне правомерно и с достаточной достоверностью подтверждается экспериментальными работами.

КЛАССИФИКАЦИЯ ФАКТОРОВ КЕРНООБРАЗОВАНИЯ ПО СТЕПЕНИ ИХ ВЛИЯНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ И СОХРАННОСТЬ КЕРНА

Для выявления степени достоверности данных проведенных исследований были использованы общеизвестные математические методы обработки результатов экспериментальных исследований.

Для математической обработки результатов исследований степени влияния факторов кернообразования на формирование и сохранность керна наиболее приемлем метод дисперсионного анализа. Этот метод дает количественную оценку степени влияния конкретного фактора, оценивает его достоверность и позволяет в процентном отношении судить о правильности выбора важнейших факторов в пределах заданных условий эксперимента.

Для обеспечения возможности машинной обработки все полученные при исследовании данные были скомбинированы в дисперсионный комплекс, который удовлетворял следующим условиям:

- каждый фактор дисперсионного комплекса имел равное число градаций;
- дисперсионный комплекс был ортогональным;
- шаг градаций каждого фактора был одинаковым по всему комплексу.

В организованном трехфакторном дисперсионном комплексе в качестве результативного признака был принят линейный выход керна в процентах, а факторами комплекса были взяты

Таблица 3-18

Результаты расчетов дисперсионного комплекса

Факторы	Дисперсия (степень влияния)		Критерий Фишера	Достоверность
	Числовое значение	Процент влияния		
Всего	$100\ 000 \cdot 10^{-5}$	100	3,126	0,99
I фактор	$1\ 619\ 711 \cdot 10^{-7}$	16,19	127,669	0,95—0,99
II фактор	$1\ 420\ 117 \cdot 10^{-7}$	14,20	21,637	0,95—0,99
III фактор	$360\ 707 \cdot 10^{-6}$	36,07	557,567	0,99
I + II	$150\ 494 \cdot 10^{-8}$	0,15	0,775	0,95
I + III	$246\ 910 \cdot 10^{-9}$	0,02	0,254	0,95
II + III	$265\ 700 \cdot 10^{-7}$	2,65	6,842	0,95—0,99
I + II + III	$118\ 203 \cdot 10^{-8}$	0,10	0,304	0,95—0,99
Организованные факторы	$694\ 194 \cdot 10^{-6}$	69,41	49,315	0,95—0,99
Неучтенные факторы	$305\ 800 \cdot 10^{-6}$	30,59	1,000	0,95—0,99

факторы кернообразования, имеющие первостепенное влияние на формирование и сохранность керна.

I фактор — диаметр бурения (керна) — фактор № 1 в разделе технических факторов кернообразования согласно результатам обработки данных методом математического ранжирования с последующим подтверждением экспериментальными исследованиями. Для удобства расчетов и в связи с некоторым недостатком экспериментальных данных взяты две градации: диаметры бурения коронками 46 и 59 мм.

II фактор — поперечная вибрация колонкового снаряда — фактор № 1 в разделе технологической группы факторов. В связи с малым объемом экспериментальных данных авторами с известной долей допущений принято, что поперечная вибрация (амплитуда и частота) может быть представлена произведением осевой нагрузки P на частоту вращения бурового снаряда n . Принято пять градаций данного фактора от $5 \cdot 10^4$ до $130 \cdot 10^4$ с шагом через $20 \cdot 10^4$, даН · мин $^{-1}$.

III фактор — трещиноватость горных пород — фактор № 1 в разделе геологических факторов кернообразования. По удельной кусковатости керна принято три градации: 1—10, 11—30; 31—50 шт./м.

При составлении дисперсионного комплекса использованы результаты исследований, проведенных при следующих условиях:

- порода — гранит; гранодиорит IX—X категорий по буримости;

- колонковый снаряд — одинарная колонковая труба;

- количество промывочной жидкости $20—40$ дм 3 /мин.

Анализ результатов расчета дисперсионного комплекса (табл. 3-18) позволил сделать следующие выводы:

Таблица 3-19

Классификация факторов карнообразования

		Факторы карнообразования		
Группа факторов карнообразования		геологические	технические	
A	Факторы, определяющие выход керна	Трещиноватость пород Перемежаемость пород по твердости	Диаметр керна Конструкция снаряда Способ бурения	Поперечная вибрация колонкового снаряда Количество промывочной жидкости Осевая нагрузка на инструмент Продольная вибрация колонкового снаряда
B	Факторы, влияющие на выход керна	Структура пород Вторичные изменения пород Текстура пород Угол встречи пластов с осью скважины	Способ заклинивания керна Способ удаления продуктов разрушения Тип забойного инструмента Качество снаряда Толщина матрицы коронки Форма торца коронки	Углубка за рейс Частота вращения бурового снаряда
C	Факторы, оказывающие влияние на выход керна в специфических условиях	Категория пород по бурильности Глубина залегания пород Абрзивность пород	Профиль каналов коронки Качество и размер алмазов Число секторов в коронке	Водоотдача промывочной жидкости Вязкость промывочной жидкости Плотность промывочной жидкости Химический состав промывочной жидкости

— в пределах заданных условий эксперимента определяющим фактором, влияющим на выход керна, является трещиноватость горных пород (степень влияния 36,07 %);

— поперечные вибрации колонкового снаряда и диаметр бурения оказывают существенное влияние на формирование и сохранность керна в колонковой трубе (степень влияния 16,19 и 14,20 % соответственно);

— общая степень влияния организованных факторов — 69,41 %; это свидетельствует о том, что в заданных условиях эксперимента все важнейшие факторы учтены как организованные и, следовательно, ни один важный фактор не упущен (степень влияния всех остальных факторов кернообразования суммарно составляет всего 30,59 %).

Таким образом в результате проведенных исследований с достаточной степенью достоверности можно составить схему классификации, отражающую характер важности факторов по степени их влияния на процесс кернообразования (табл. 3-19).

Глава 4

КАЧЕСТВО КЕРНОВЫХ ПРОБ

ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА КЕРНОВОЙ ПРОБЫ

Одним из основных показателей качества геологоразведочных работ является количество кернового материала, получаемого в процессе бурения скважин. Для большинства генетических типов месторождений полезных ископаемых этот показатель вполне удовлетворяет требованиям геологической службы. Инструкциями Государственной комиссии СССР по запасам, рекомендациями и инструктивными указаниями научно-исследовательских и производственных организаций предусматривается получение кернового материала при геологоразведочном бурении не ниже 70—85 % от пройденного интервала скважины. В зависимости от генетического типа месторождения получение 85—90 %-ного выхода керна считается вполне достаточным для оценки многих полезных ископаемых.

Однако существует ряд геологических задач (в инженерной геологии, при разведке полезных ископаемых, подверженных избирательному истиранию керна и т. д.), при решении которых требуется не только высокий выход керна (до 100 %), но и максимальное сохранение его структуры. Для соблюдения указанных повышенных требований к качеству керна необходимо изучить механизм изменения качественных характеристик керна.

Выполненный в ВИТР комплекс исследований процесса кернообразования позволил разработать шкалу оценок керна по его качественным показателям. По этой шкале количество кернового материала является только одним из критериев оценки качества керна. На основе проведенных стендовых и производственных исследований выявлена стадийность процесса износа керна и проработаны некоторые теоретические аспекты механизма разрушения кернового материала при геологоразведочном бурении.

Теоретические, производственные и экспериментальные исследования позволили впервые осуществить комплексный под-

ход к проблеме кернообразования и с его помощью разработать модель процесса формирования и дальнейшей сохранности керна при колонковом бурении. При этом смоделирован весь процесс получения керна от исходных условий его образования до полной качественной характеристики полученной керновой пробы.

Оценка качества разведочных работ только по количеству полученного при бурении керна не отвечает современным требованиям, а в ряде случаев и не позволяет признать месторождение полезного ископаемого разведанным с необходимой степенью достоверности. Приходится повышать достоверность полученной геологической информации дополнительным опробованием по шламу, перебуриванием рудных интервалов и, наконец, заверкой данных бурения горными выработками.

Большинство исследователей основное внимание уделяют качественной характеристике кернового материала: линейному, весовому или объемному выходу керна. В связи с этим представляется необходимым иметь шкалу оценок керна по его качественным показателям, в которую количество кернового материала входило бы только одним из критериев. Общей характеристикой критериев является соответствие свойств кернового материала пройденному интервалу скважины.

Предлагаемые в табл. 4-1 основные критерии качества керновых проб отвечают этим требованиям. Они необходимы для оценки качества керновых проб и в то же время достаточны для такой оценки, так как керн с максимальной оценкой по данным критериям позволяет получить полную информацию для решения геологических задач, определяемых инструкциями и положениями о проведении исследований керновых проб.

Оценка керновых проб по предложенным критериям позволяет разбить всю получаемую в виде проб геологическую информацию на четыре группы:

- пробы представительные по всем трем критериям;
- пробы представительные по двум критериям (имеет место нарушение структуры);
- пробы представительные по одному критерию (нарушена структура керновой пробы либо некондиционный выход керна);
- пробы, у которых не выдержан ни один из критериев (брак).

Основными факторами, приводящими к нарушению качественных характеристик керна при бурении являются физические процессы, определяющие в основном механическое разрушение керна (истирание, сколы, размывание и т. д.). Следует учитывать, что разрушение керна идет тем интенсивней, чем больше поверхность кернового материала, подвергающаяся указанным воздействиям. Поверхность определяется степенью дроб-

Таблица 4-1

Основные критерии качества керновых проб

Критерий	Общая характеристика критерия	Основной критерий	Характеристика критерия	Оценка керна
1	Соответствие свойств кернового материала пройденному интервалу скважины	Количество кернового материала (выход керна)	Линейный Весовой Объемный	Выход, % То же »
2	То же	Вещественный состав кернового материала	Наличие избирательного истирания полезного компонента Содержание летучих компонентов	Изменение содержания, % То же
3	»	Структура кернового материала	Вторичное дробление керна Изменение физико-механических свойств Ориентация керна	Есть, нет В единицах величин Градус поворота

ления керновой пробы, т. е. числом кусков керна в керноприемной трубе.

Необходимо также различать естественную трещиноватость породы в массиве (первичная дезинтеграция породы) и вторичное дробление породы под воздействием вибраций, ударов и других механических воздействий, возникающих в процессе бурения.

В процессе разрушения керна отмечаются три стадии:

- раскрытие естественных поверхностей дробления и вторичное технологическое дробление керна;
- механическое разрушение керна (истирание, сколы, размывание и т. д.);
- вынос разрушенных частиц керна струей промывочной жидкости.

По стадийности развития процессов разрушения керна при геологоразведочном бурении составлена принципиальная схема процесса формирования и износа керна в виде структурной схемы (рис. 4-1), где в качестве исходных условий принято первичное состояние пород в массиве, а в качестве выходных параметров — керновый материал с оценкой по трем предложенным критериям качества керна.

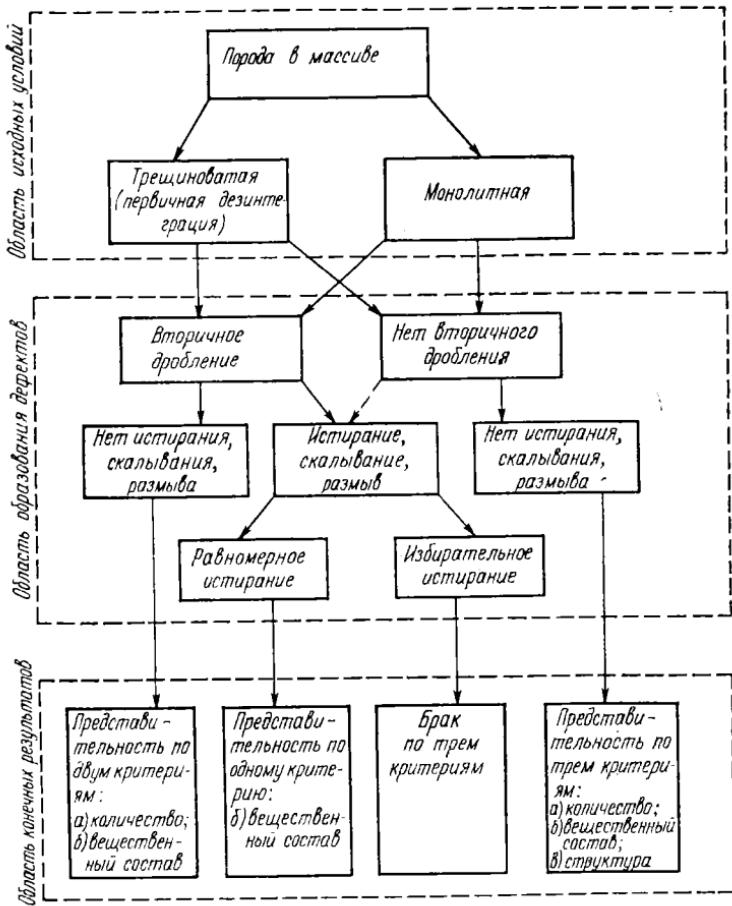


Рис. 4-1. Структурная схема процесса формирования и износа керна.
Штриховой линией со стрелкой обозначен процесс изтирания монолитного керна по диаметру.

Следует учитывать, что в приведенной структурной схеме область образования дефектов керновой пробы представляет собой упрощенную модель процесса износа керна. В реальных условиях процесс износа керна протекает существенно сложнее и может быть разделен еще минимум на две области: предпосылок износа и собственно износа.

КЛАССИФИКАЦИЯ КЕРНОВЫХ ПРОБ ПО ДОСТОВЕРНОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

На структурной схеме процесса формирования и износа керна в керноприемной трубе (рис. 4-1) показано, что любое развитие процесса износа керна в конечном итоге приводит

Варианты соотношения качественных характеристик керновой пробы

Качественная характеристика керновой пробы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Сохранение массы керна	+	—	—	—	—	+	+	+
Сохранение структуры керна	+	+	—	—	+	—	+	—
Содержание полезного компонента	+	+	+	—	—	—	—	+

Примечание. + оценка качественной характеристики соответствует требованиям геологической службы; — оценка качественной характеристики ниже пределов, допускаемых требованиями геологической службы.

к конкретному результату, отраженному в качественных характеристиках керновых проб. В зависимости от направления развития процесса износа керна в керноприемной трубе теоретически могут иметь место различные соотношения качественных характеристик керновой пробы (табл. 4-2).

В реальных условиях износ керна происходит по стадиям. В первую очередь при всех видах износа нарушается структура кернового материала (дополнительные сколы керна, вибрационное перемешивание кусков и плашек керна, нарушение ориентации столбиков керна относительно друг друга и др.). Потеря массы керновой пробы при достаточно интенсивном износе достигает критического значения 25—30 %. Существенное значение имеет характер разрушения керна (избирательный, равномерный). При избирательном износе одновременно с потерей части массы кернового материала происходит нарушение соотношения содержания полезного компонента в керновой пробе.

Из всего вышесказанного следует, что в реальных условиях бурения из восьми возможных теоретических вариантов соотношения оценок качественных характеристик керновой пробы осуществляются только четыре:

- керновая пробы представительна по всем трем характеристикам (вариант I);
- керновая пробы представительна по массе и содержанию, потеряна структура (вариант VIII);
- керновая пробы представительна по содержанию, потеряна структура и часть массы при равномерном износе (вариант III);
- керновая пробы полностью не представительна (вариант IV).

Таблица 4-3

Классификация керновых проб по степени достоверности получаемой геологической информации

Класс пробы	Характеристика класса	Степень достоверности получаемой информации	Решаемые геологические задачи
I	Проба соответствует исходному интервалу скважины: — по структуре, — по массе, — по истинному содержанию полезного компонента	Максимальная	Инженерно-геологические и гидрогеологические изыскания в весьма слабых породах, определение элементов залегания горных пород и др.
II	Проба соответствует исходному интервалу скважины: — по массе, — по истинному содержанию полезного компонента	Высокая	Получение полной геологической информации при разведке на твердые полезные ископаемые любого генезиса
III	Проба соответствует исходному интервалу скважины: — по истинному содержанию полезного компонента	Частичная	Получение достаточной геологической информации при разведке большинства метаморфических и осадочных месторождений
IV	Проба не соответствует исходному интервалу скважины по всем параметрам	Минимальная	Сведения о наличии полезного ископаемого. Информация о вмещающих породах

Примечание. Потеря массы керновой пробы (класс III, IV) не превышает 60 %.

На основе выделенных вариантов соотношения оценок качественных характеристик керна и анализа требований к достоверности геологической информации авторами разработана классификация керновых проб по степени достоверности получаемой геологической информации (табл. 4-3). В качестве домinantного признака классификации принята достоверность получаемой геологической информации. При разработке классификации принято допущение, что для III и IV классов пробы потери ее массы не превышают 60 %. Таким образом, выход керна 40 % является минимально необходимым для качественной оценки керновой пробы.

Разработанная классификация керновых проб по степени их достоверности позволяет определять необходимые параметры качества керновой пробы и в соответствии с требуемым классом представительности пробы решать вопросы о применении специальных технических средств и способов отбора керна. Таким образом, структурная схема процесса формирования и износа керна с известной степенью приближения моделирует процесс формирования и износа керна при бурении. При этом следует учитывать, что указанный процесс складывается из двух основных фаз, существенно различных по исходным параметрам и условиям протекания процесса:

- формирование керна в зоне матрицы алмазной коронки в процессе собственно бурения;
- износ керна в керноприемной трубе в процессе бурения и при подъеме ее на поверхность.

Каждая фаза имеет свою специфику, требующую специального рассмотрения.

МОДЕЛЬ ИЗНОСА КЕРНА В ПРОЦЕССЕ БУРЕНИЯ

ФОРМИРОВАНИЕ КЕРНА В ПОРОДОРАЗРУШАЮЩЕМ ИНСТРУМЕНТЕ ПРИ АЛМАЗНОМ БУРЕНИИ

ФОРМИРОВАНИЕ КЕРНА В ЗОНЕ МАТРИЦЫ АЛМАЗНОЙ КОРОНКИ ПРИ БУРЕНИИ МОНОЛИТНЫХ ПОРОД

Формирование керна в породоразрушающем инструменте при алмазном бурении — достаточно сложный физический процесс, все аспекты которого не могут быть учтены на современном уровне развития геологоразведочного бурения из-за несовершенства или отсутствия методики и средств измерения всех без исключения параметров процесса бурения, влияющих на формирование керна. Таким образом, при попытках моделирования процесса формирования керна породоразрушающим инструментом имеют место определенные упрощения и ограничения.

В настоящем разделе процесс формирования керна рассматривается для следующих граничных условий:

— бурение ведется только алмазным способом, и соответственно породоразрушающим инструментом является алмазная коронка;

— процесс формирования керна рассматривается для условий бурения коронками наиболее распространенных диаметров алмазного бурения (46, 59, 76 мм);

— бурение ведется в породах, по своим физико-механическим свойствам относящихся к оптимальным областям применения алмазного способа бурения (VII—XII категории по буримости, различной степени трещиноватости, динамической прочности и абразивности);

— бурение ведется в условиях контакта формирующегося керна с промывочным агентом различных физико-механических свойств, продувка воздухом не рассматривается;

— в связи с достаточной прочностью пород (VII и выше категории по буримости) при их бурении гидродинамический эффект разрушения породы и ее механическое размывание как процесс разрушения керна в матрице коронки имеют подчиненное значение и при алмазном способе бурения могут не учитываться;

— растворение как специфический процесс разрушения керна при его формировании обусловлено химическим взаимодействием кернового материала и промывочной жидкости и устремляется изменением химических характеристик промывочного агента.

При формировании керна в алмазном породоразрушающем инструменте следует выделять две зоны, определяемые конфигурацией матрицы алмазной коронки (зона периферийных алмазов матрицы — I и зона подрезных алмазов — II). Зона периферийных алмазов матрицы алмазной коронки определяется на матрице расстоянием от точки соприкосновения матрицы с плоскостью забоя, перпендикулярной к оси керна, до точки сопряжения кривой, образующей форму торца матрицы коронки, с образующей цилиндрической поверхности матрицы (рис. 5-1). Таким образом, зона периферийных алмазов имеет достаточно сложную конфигурацию, определяемую в основном формой матрицы алмазной коронки.

Так как подавляющее большинство типов алмазных коронок имеет закругленную форму торца матрицы, выделение специфической зоны периферийных алмазов вполне правомерно. Исключение составляют коронки с прямоугольной формой торца матрицы, у которых выделить зону периферийных алмазов не представляется возможным. В зоне периферийных алмазов начинается формирование основания столбика керна разбуриваемой горной породы. При этом распределение усилий, действующих на керн, меняется от одноосного сжатия и среза (объемными алмазами) до среза и скручивания (подрезными алмазами). Таким образом, основание кернового столбика в периферийной зоне испытывает сложное напряженное состояние, характеризующееся воздействием усилий, различных по значению и направлению.

Зона подрезных алмазов матрицы алмазной коронки определяется на матрице образующей цилиндра подрезных алмазов от точки сопряжения кривой, описывающей форму матрицы коронки, до верхнего ряда подрезных алмазов (рис. 5-2). В зоне подрезных алмазов заканчивается формирование столбика керна разбуриваемой горной породы. На столбик керна действует сила, являющаяся равнодействующей тангенциальных усилий вращения бурового снаряда и продольных усилий воздействия осевой нагрузки на инструмент. Равнодействующая усилий, действующих на керн в зоне периферийных алмазов, направлена по винтовой линии с шагом, равным значению заданной углубки за оборот.

Необходимо учитывать, что процесс формирования керна в матрице алмазной коронки существенно различен для монолитных и трещиноватых пород. В общем виде расчет усилий, действующих на формирующийся в матрице алмазной ко-

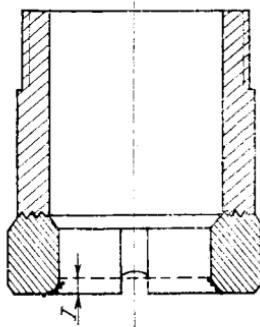


Рис. 5-1. Зона периферийных алмазов (I).

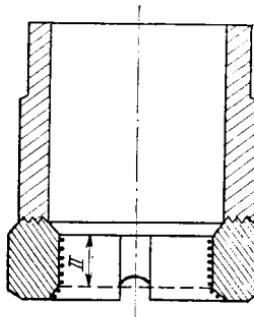


Рис. 5-2. Зона подрезных алмазов (II).

ронки столбик керна монолитных пород, приведен в работе А. М. Абдуладзе, Г. М. Ибадова, А. А. Ибрагимова [43], в которой рассмотрены усилия, действующие в зоне периферийных алмазов (зона I) и в зоне, где происходит окончательное формирование диаметра керна (зона II).

Схема распределения усилий, действующих на формирующийся столбик керна, показана на рис. 5-3. Очевидно, что значения крутящих моментов и усилий, действующих на керн, различны для обеих зон и должны быть рассмотрены отдельно.

Зона I. В данном случае можно предположить, что распределение напряжений под торцом коронки происходит по следующему закону:

$$q_x = q_0 \sin \alpha_0, \quad (5-1)$$

где q_0 — максимальное значение контактного давления под торцом коронки при $x=r_0$ у низшего основания сектора; α_0 — угол между горизонтальной плоскостью, проходящей через центр закругления матрицы, и плоскостью, проходящей через точку сопряжения; r_0 — средний радиус коронки.

Значение максимального контактного давления определяется из условия равновесия осевой нагрузки на коронку и реакции забоя:

$$p_{oc} = \iint_F q_x dF, \quad (5-2)$$

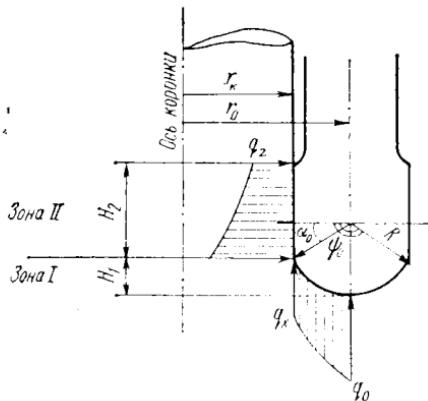
где dF — элементарная контактная площадь рабочей поверхности коронки с забоем.

Преобразования на основе формул (5.1) и (5.2) позволяют получить соотношение вида

$$q_0 = r_k p_{oc} / \{ [\zeta N_0 d_0 R] [f(\Psi_0)] \}, \quad (5-3)$$

где r_k — радиус керна; p_{oc} — максимальное контактное давление; R — радиус закругления рабочей поверхности торца

Рис. 5-3. Схема распределения усилий, действующих в зонах I и II формирования керна.



коронки; ξ — коэффициент, учитывающий контакт рабочей грани единичного алмаза с породой ($0 < \xi < 1$); Ψ — центральный угол сектора закругления матрицы коронки; N_0 — число алмазов на внутренней окружности коронки, где начинает формироваться окончательный диаметр керна ($x = r_k$); d_0 — диаметр закругленной рабочей кромки алмазов.

Момент кручения, возникающий в зоне I, может быть рассчитан по следующим формулам:

элементарный момент кручения

$$dM_x = \mu_0 q_x dF; \quad (5-4)$$

момент кручения для всего сечения

$$M_x = [\mu_0 p_{oc} / f(\Psi_0)] \int_{\alpha_0}^{\alpha} \sin \alpha (r_0 - R \cos \alpha)^2 d\alpha = \mu_0 p_{oc} f(\alpha) / f(\Psi_0), \quad (5-5)$$

где μ_0 — коэффициент трения алмазов о породу ($\mu_0 \approx 0,05 \div 0,3$).

В формуле (5-5) выражение $f(\alpha)$ может быть описано следующим выражением:

$$f(\alpha) = r_0^2 (\cos \alpha_0 - \cos \alpha) - r_0 R (\sin^2 \alpha - \sin^2 \alpha_0) - (R^2/3) (\cos^3 \alpha - \cos^3 \alpha_0). \quad (5-6)$$

Напряжения скручивания τ_1 , возникающие в формирующемся столбике керна в зоне I под действием крутящего момента могут быть рассчитаны по следующей формуле:

$$\tau_1 = M_x / [1,6(R \cos \alpha_0 + r_k)^3]. \quad (5-7)$$

Зона II. В этой зоне закон распределения контактного давления является убывающей функцией вида

$$q_z = q_k e^{-k(H_2 - Z)}, \quad (5-8)$$

Таблица 5-1

Расчетные значения скручивающих напряжений, действующих на керн при его формировании в зоне матрицы алмазной коронки

Показатель	Наружный диаметр коронки, мм							
	46		59		76			
	тонко-стенная	стандартная	утолщенная	тонко-стенная	стандартная	утолщенная	стандартная	утолщенная
Крутящий момент M_k , кг·м	2,86	2,37	2,05	3,96	3,43	3,02	5,01	4,25
Напряжение кручения τ_k , кг/см ²	18,58	20,26	37,69	10,36	11,79	14,05	6,53	7,67

где H_2 — высота внутренней калибрующей части коронки; q_k — максимальное значение сжимающего контактного давления в сечении начала образования цилиндрического диаметра керна; K — коэффициент, определяющий степень сжимающего контактного давления на участке обработки цилиндрического диаметра керна ($0 < K \leq 1$); Z — высота зоны (изменяется от 0 до H_2).

После некоторых преобразований получим

$$q_k = [H_2/(H_1 + H_2)] q_0 = r_k H_2 p_h / [H_1 + H_2] \xi N_0 d_0 R f(\Psi_0). \quad (5-9)$$

Крутящий момент в зоне II может быть описан следующей формулой:

$$M_k = \frac{M_0}{K} \frac{H_2 r_k^2 P_k}{\xi R H f(\Psi_0)} (1 - e^{-KH_2}), \quad (5-10)$$

где $f(\Psi_0)$ — функция центрального угла сектора закругления матрицы коронки,

$$f(\Psi_0) = r_0 (\cos \alpha_0 - \cos \Psi_0) - (1/2) R (\sin^2 \Psi_0 - \sin \alpha_0). \quad (5-11)$$

В зоне II в керне возникают напряжения

$$\tau_{II} = M_k / [1,6 (r_k + R \cos \alpha_0)^3]. \quad (5-12)$$

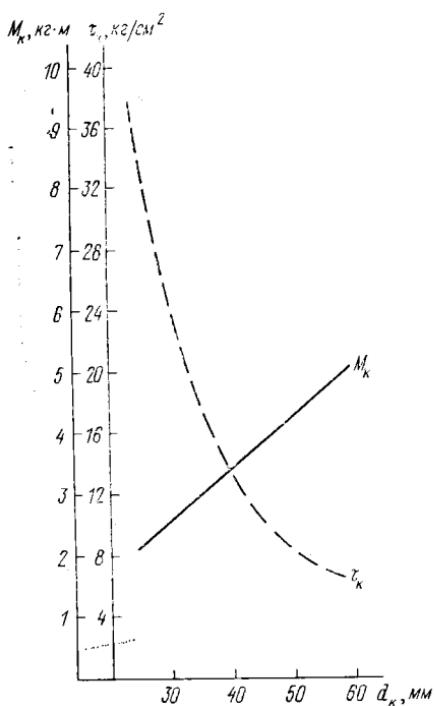


Рис. 5-4. Зависимость скручивающих усилий M_k и τ_k , действующих на керн в зоне матрицы алмазной коронки, от диаметра d_k формируемого керна.

Если напряжения скручивания в зонах I и II превышают допустимые напряжения на скручивание керна, то происходит отделение столбика керна от монолита по ослабленному сечению. Совершенно очевидно, что наиболее опасное сечение при работе керна на скручивание находится в зоне II, где диаметр керна доведен до минимально возможного при его формировании в зоне матрицы коронки конкретного типоразмера.

Формулы (5.10) и (5.12)

позволяют рассчитать возни-
кающие напряжения на скручивание керна для некоторых ос-
новных типоразмеров алмазных коронок (табл. 5-1). Зависи-
мость значения скручивающих усилий, действующих на
керн в зоне матрицы алмазной коронки, от диаметра получа-
емого керна показана на рис. 5-4.

ФОРМИРОВАНИЕ КЕРНА В ЗОНЕ МАТРИЦЫ АЛМАЗНОЙ КОРОНКИ ПРИ БУРЕНИИ ТРЕЩИНОВАТЫХ ПОРОД

В отличие от монолитных пород, в которых разрушение формируемого матрицей алмазной коронки столбика керна возможно только путем скручивания или вибрационного скола, в трещиноватых породах формирование неотделенного от забоя столбика керна практически невозможно именно вследствие наличия трещиноватости. При этом само понятие оценки трещиноватости в этом случае отлично от принятой оценки по удельной кусковатости $K_{уд}$ в силу существенного различия размеров зон взаимодействия матрицы алмазной коронки и керноприемной трубы с керном.

Если степень трещиноватости кернового материала в керноприемной трубе ($L_{тр} \approx 2,5 \div 3,0$ м) с достаточной степенью точ-

Таблица 5-2

Шкала оценки степени трещиноватости горных пород

Показатель трещиноватости горных пород	Степень трещиноватости горных пород		
	слабая	средняя	интенсивная
Значение показателя, шт./см	<0,2	0,2—1,0	>1,0

ности может быть оценена по удельной кусковатости керна коэффициентом удельной кусковатости $K_{уд}$, то совершенно очевидно, что такая оценка неприменима к незначительной массе кернового материала, находящегося в зоне матрицы алмазной коронки (высота матрицы коронки $L_k \approx 0,01 \div 0,015$ м). Поэтому степень трещиноватости горных пород в зоне матрицы алмазной коронки предлагается оценивать по показателю трещиноватости W [31]. При этом показатель трещиноватости W принимает вид

$$W = n/D,$$

где n — число трещин, пересекаемых матрицей коронки в данный момент времени; D — диаметр алмазной коронки, см.

Шкала оценок трещиноватости горных пород в зоне матрицы алмазной коронки приводится в табл. 5-2.

В соответствии со степенью трещиноватости горных пород характер разрушения формирующегося керна существенно различен. Если при слабой трещиноватости преимущественным видом износа является вибрационное разрушение керна при ударных нагрузках по плоскости трещины, то в интенсивно-трещиноватых горных породах основным видом износа формирующегося керна является дробление и вымывание кернового материала.

При формировании керна слаботрещиноватых и трещиноватых пород существенно важным фактором является угол встречи трещины матрицей алмазной коронки. При этом следует различать следующие два случая:

- плоскость трещины полностью расположена в зоне матрицы алмазной коронки (рис. 5-5, а);

- плоскость трещины пересекает зону матрицы алмазной коронки (рис. 5-5, б).

В первом случае столбик керна полностью отделяется от забоя в зоне матрицы алмазной коронки, во втором отделение столбика керна от забоя происходит при полном пересечении плоскости трещины матрицей коронки при ее поступательном движении во время бурения.

В работах ряда авторов [15, 44] приведены теоретические расчеты механизма разрушения керна при бурении в трещиноватых породах при расположении плоскости трещин под углом

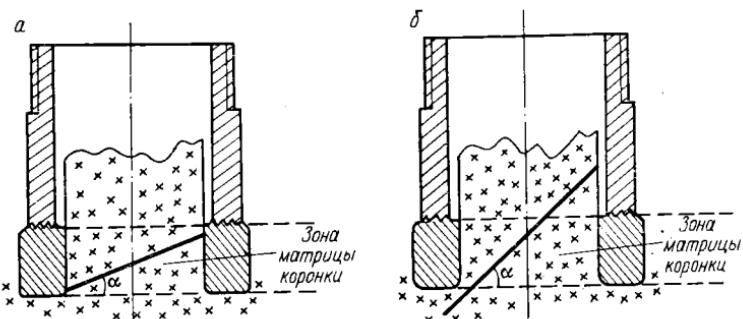


Рис. 5-5. Трещина, полностью пересекающая формируемый столбик керна в зоне матрицы алмазной коронки (а) и вне зоны матрицы алмазной коронки (б).
α — угол наклона трещины.

к оси керна. Однако во всех расчетах рассматривается положение керна в керноприемной трубе, что обусловливает возможность перемещения его в горизонтальной плоскости. В зоне матрицы коронки при формировании столбика керна подрезными алмазами отделенный по плоскости трещины от забоя столбик керна плотно зажат в матрице и не может подвергаться горизонтальным перемещениям. В связи с этим вышеуказанные расчеты не вполне правомерны для условий зажатого столбика керна. В этом случае более правомерен расчет возможности заклинивания столбика керна в зоне матрицы алмазной коронки с использованием методики расчета деталей, контактирующих друг с другом по типу винтовых соединений, по общезвестным формулам расчетов деталей машин.

Тогда усилие, необходимое для проворачивания одной детали относительно другой, а в данном случае столбика керна, отделенного по трещине, относительно забоя, может быть определено по формуле

$$P_{\text{сдв}} = P \operatorname{tg} \alpha, \quad (5-13)$$

где $P_{\text{сдв}}$ — необходимое усилие сдвига; P — вес верхнего отделенного столбика керна; α — угол наклона трещины относительно плоскости поперечного сечения керна (рис. 5-5).

При расчетах сдвига отделенного столбика керна необходимо также учитывать коэффициент трения пары столбик керна — забой. Коэффициент трения пары порода — порода, по Л. И. Барону, составляет $f = 0,7 \div 0,8$. Тогда формула (5-13) принимает вид

$$P_{\text{сдв}} = P (\operatorname{tg} \alpha + f) / (1 - f \operatorname{tg} \alpha). \quad (5-14)$$

Критический угол наклона трещины

$$\operatorname{tg} \alpha = (P_{\text{сдв}} - Pf) / (P_{\text{сдв}} f + P). \quad (5-15)$$

Необходимое усилие сдвига $P_{\text{сдв}}$, кроме того, может быть рассчитано из следующего выражения:

$$P_{\text{сдв}} = \tau_{\text{сдв}} F_{\text{зах}}, \quad (5-16)$$

где $\tau_{\text{сдв}}$ — напряжение сдвига; $F_{\text{зах}}$ — площадь захвата отделенного столбика керна матрицей, м^2 .

В свою очередь

$$F_{\text{зах}} = \pi d_k h, \quad (5-17)$$

где h — высота матрицы алмазной коронки; d_k — диаметр керна.

Развиваемое напряжение кручения может быть получено расчетным путем из общезвестного выражения

$$\tau_k = M_k / (F_k r_k), \quad (5-18)$$

где M_k — крутящий момент; F_k — площадь поперечного сечения керна; r_k — радиус керна.

Крутящий момент в этом случае рассчитывается по формуле (5-10). Рассчитанное напряжение, передаваемое на керн в зоне матрицы коронки (зона II), при нормальном течении процесса бурения позволяет рассчитать сдвигающее усилие, действующее на столбик керна, и соответственно максимальный критический угол наклона трещины по отношению к поперечному сечению керна, при котором возможен его сдвиг.

Несложные преобразования формул (5-15); (5-16); (5-17) позволяют получить для расчета критического угла наклона трещины следующее выражение:

$$\operatorname{tg} \alpha = (\tau_{\text{расч}} \pi d_k h M_k - P f) / (\tau_{\text{расч}} \pi d_k h f \mu_0 + P), \quad (5-19)$$

где $\tau_{\text{расч}}$ — расчетное напряжение скручивания, возникающее в столбике формирующегося керна; P — вес вышележащих столбиков керна.

Вес вышележащих столбиков керна может быть определен по следующей формуле:

$$P = (\pi d_k^2 / 4) L_p \rho, \quad (5-20)$$

где ρ — объемный вес пород; L_p — углубка за рейс.

Критический угол наклона трещины ограничивает область значений углов наклона, в которой под воздействием крутящего момента, передаваемого на столбик керна подрезными алмазами, возможно вращение отделенного столбика керна и перемещение его по неподвижному забою под нагрузкой, равной весу вышележащего керна. Указанное явление приводит к износу кернового материала истиранием и частично вибрационными сколами по соприкасающимся поверхностям керновых столбиков.

Таблица 5-3

Значения критических углов наклона трещин в зоне матрицы алмазной коронки для различных условий бурения

Критический угол наклона	Диаметр бурения, мм		
	46	59	76
Максимальный	$\sim 26^\circ$	$\sim 6^\circ$	$\sim 2^\circ$
Минимальный	~ 4	~ 1	0 (поворота нет)

Расчетные значения критических углов наклона трещин для наиболее распространенных типоразмеров алмазных коронок приводятся в табл. 5-3.

Таким образом, при углах наклона трещины ниже критических даже при нормальном неосложненном процессе бурения под воздействием крутящего момента, передаваемого на формирующийся керн, особенно при бурении коронками малого диаметра, керн проворачивается относительно забоя и тем самым структура керна нарушается непосредственно при его формировании.

Проворачивание керна может не происходить только при бурении коронками диаметром 76 мм и более в конце рейсов, когда вес накопленного в рейсе кернового материала превышает напряжение скручивания, передаваемое на керн матрицей алмазной коронки.

При проворачивании отдельного столбика керна относительно забоя происходит разрушение кернового материала в зоне контакта керна с плоскостью забоя. Процесс разрушения керна проходит тем интенсивнее, чем выше уровень продольных и поперечных вибраций, наложенных на процессы объемного дробления и истирания.

Разрушение керна сильнотрециноватых пород при его формировании в зоне матрицы алмазной коронки имеет ряд отличий. По принятому определению сильнотрециноватыми для зоны матрицы алмазной коронки являются породы с числом трещин >1 на один сантиметр диаметра коронки, т. е. с максимальным размером частиц породы около 10 мм.

Как показано ранее, керновый материал в зоне матрицы алмазной коронки испытывает напряжения скручивания под воздействием крутящего момента, передаваемого на керновый материал подрезными алмазами матрицы. Значение развиваемых напряжений в общем виде обратно пропорционально диаметру формируемого столбика керна.

В случае формирования керна в сильнотрециноватых раздробленных породах керновый материал в матрице коронки формируется из частиц размером около 10 мм, которые могут перемещаться относительно друг друга.

Таблица 5-4

Значения напряжений сдвига при бурении сильнотрещиноватых раздробленных пород ($n = 500 \text{ мин}^{-1}$)

Показатель	Диаметр коронки, мм		
	46	59	76
Крутящий момент M_k , даН·м	2,37	3,43	5,01
Напряжение сдвига $\tau_{\text{сдв}}$ даН/см ²	75,40	109,18	159,47

В этом случае крутящий момент передается не на монолитный в зоне матрицы столбик керна полного диаметра, а на массив частиц, каждая из которых имеет диаметр около 10 мм. При этом напряжение скручивания в каждой конкретной частице вызывает усилие сдвига. Напряжение сдвига в этом случае существенно возрастает и может достигать значений, превышающих предел прочности горных пород на сдвиг.

Расчетные значения напряжений сдвига в зависимости от мощности, передаваемой на забой при бурении с частотой вращения снаряда 500 мин^{-1} коронками различного диаметра, приводятся в табл. 5-4. Анализ данных таблицы показывает, что в случае бурения сильнотрещиноватых раздробленных пород уже при формировании массива керновой пробы в зоне матрицы алмазной коронки развивающиеся напряжения сдвига могут привести к разрушению слабых, средней крепости и даже некоторых крепких пород.

При этом следует учитывать следующие существенные моменты развития процесса разрушения керна:

— процесс разрушения кернового материала в зоне матрицы коронки имеет некоторую протяженность во времени, в течение которого возрастает степень дробления кернового материала вплоть до частиц размером $< 5 \text{ мм}$;

— процесс разрушения конкретной частицы ограничен во времени скоростью продвижения данной частицы в матрице коронки. Скорость продвижения частицы в свою очередь прямо соответствует механической скорости бурения;

— в связи с ограниченным временем процесса в него вовлекаются только периферийные частицы кернового материала. Центральная часть кернового массива при нормальном, неосложненном, процессе бурения проходит зону матрицы алмазной коронки не будучи вовлеченной в процесс разрушения, поэтому потери кернового материала хотя и велики, но не достигают 100 %. Размер зон разрушения зависит от диаметра выбуруиваемого массива кернового материала (рис. 5-6).

Относительные потери кернового материала (износ керна) при его разрушении в зоне матрицы алмазной коронки можно

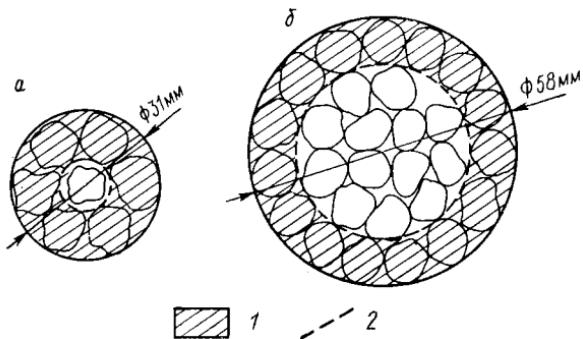


Рис. 5-6. Разрушение керна при бурении коронками диаметром 46 мм (а) и 76 мм (б).

1 — зона разрушения; 2 — граница зоны разрушения.

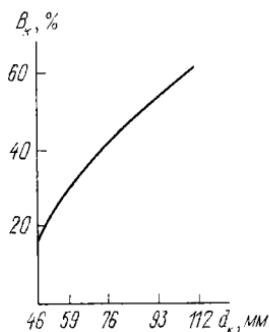


Рис. 5-7. Зависимость выхода керна от диаметра алмазной коронки при бурении сильнотрециноватых пород.

рассчитать исходя из принятого размера частиц раздробленного керна по формуле

$$I_k = [(d_k^2 - d_{z,p}^2)/d_k^2] \cdot 100 \%, \quad (5-21)$$

где I_k — износ керна, %; $d_{z,p}$ — внутренний диаметр зоны разрушения.

Зависимость выхода керна B_k от диаметра выбуриваемого массива керновой пробы при нормальном течении процесса бурения и при полном разрушении кернового материала периферийной зоны показана на рис. 5-7. При этом следует учитывать, что полное разрушение периферийной зоны кернового материала может иметь место только при длительном пребывании конкретных частиц в зоне матрицы алмазной коронки, т. е. при существенно малой механической скорости бурения. Результаты расчетов выхода керна при полном разрушении кернового материала в периферийной зоне приведены в табл. 5-5.

Степень разрушения кернового материала в периферийной зоне зависит только от скорости продвижения кернового мате-

Таблица 5-5

**Выход керна в сильнотрещиноватых породах при формировании
массива керновой пробы в зоне матрицы коронок различного
диаметра**

Показатель	Диаметр коронки D_K , мм				
	46	59	76	93	112
Диаметр керна d_K , мм	31	42	58	76	93
Выход керна B_K , %	17,0	22,5	43,0	54,3	61,8

риала в зоне матрицы алмазной коронки. Исходя из этого можно рассчитать степень разрушения кернового материала в зависимости от соотношения скоростей износа керна и механической скорости бурения. При этом следует исходить из следующих зависимостей:

время продвижения кернового материала через матрицу коронки определяется выражением

$$t = h/v_m, \quad (5-22)$$

где h — высота матрицы алмазной коронки; v_m — механическая скорость бурения; время разрушения кернового материала определяется выражением

$$t_{dp} = V/v_{dp}, \quad (5-23)$$

где V — объем зоны разрушения; v_{dp} — скорость дробления кернового материала.

При равенстве времени дробления и времени пребывания кернового материала в зоне дробления процесс разрушения керна полностью завершается и выход керна из зоны разрушения близок к нулю.

Для обеспечения кондиционного выхода керна время пребывания кернового материала в зоне матрицы алмазной коронки должно составлять не более 30 % (0,3) от времени дробления при условии равномерности процесса разрушения. Приравняв выражения (5-22) и (5-23) с учетом принятого коэффициента 0,3, получим

$$h/(0,3v_m) = V/v_{dp}, \quad (5-24)$$

откуда

$$v_m = hv_{dp}/(0,3V), \quad (5-25)$$

но

$$V = [\pi (d_K^2 - d_{3,p}^2)/4] h,$$

тогда

$$v_m = 4v_{dp}/[0,3\pi (d_K^2 - d_{3,p}^2)]. \quad (5-26)$$

Полученное выражение определяет граничные условия протекания процесса разрушения периферийной зоны кернового материала. В общем виде выражение (5-26) должно иметь вид неравенства

$$v_m \geq 4v_{dp}/[0,3\pi(d_k^2 - d_{z,p}^2)]. \quad (5-27)$$

Таким образом, для максимального сохранения кернового материала при формировании керна в зоне матрицы алмазной коронки при бурении сильнотрещиноватых раздробленных пород следует поддерживать механическую скорость бурения на максимально возможном уровне для обеспечения максимально высокого соотношения v_m/v_{dp} при бурении коронками конкретного диаметра.

**ФОРМИРОВАНИЕ КЕРНА
В ЗОНЕ МАТРИЦЫ АЛМАЗНОЙ КОРОНКИ
ПРИ БУРЕНИИ ГОРНЫХ ПОРОД
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
СПЕЦИАЛЬНЫХ КОЛОНКОВЫХ СНАРЯДОВ
С ОБРАТНОЙ ПРОМЫВКОЙ**

При бурении с обратной промывкой на процесс формирования керна в матрице алмазной коронки накладывается специфический дополнительный фактор привноса шлама из-под торца алмазной коронки и перемещения шламовых частиц навстречу общему поступательному движению колонкового снаряда. В этих условиях необходимо различать два варианта специфики развития процесса формирования керна:

— бурение в монолитных и в слаботрещиноватых горных породах, когда процесс формирования керна осложняется привносом шлама только из-под торца буровой коронки;

— бурение в сильнотрещиноватых раздробленных породах, когда кроме шлама из-под торца коронки в зоне матрицы образуется значительное количество шлама разрушенного материала керновой пробы.

Очевидно, что во втором случае процесс бурения более существенно осложняется за счет увеличения объема шламового материала (на 30—100 %) и возрастания крупности частиц шлама (до 5,0 мм) при дополнительном дроблении кернового материала.

Проведенными стендовыми исследованиями установлено, что крупность частиц шлама, вымываемых из-под торца коронки, при бурении различных горных пород зависит от крупности объемных алмазов применяемой коронки, но в любом случае не превосходит 0,05 мм. Основной объем шлама из-под торца коронки (97—99 %) приходится на долю частиц, крупностью менее 0,01 мм.

Шлам от разрушенной части керновой пробы (шлам вторичного дробления) имеет фракционный состав, как правило, на два порядка крупнее, вплоть до верхней границы крупности шламового материала (5,0 мм). Доля частиц крупностью менее 0,05 мм в общем объеме шлама вторичного дробления составляет десятые доли процента.

В общем виде при исследовании процесса формирования керна в зоне матрицы алмазной коронки при бурении с использованием специальных технических средств с обратной промывкой существенно важным является процесс минимально достаточного количества промывочной жидкости, обеспечивающего полную очистку забоя скважины и зоны подрезных алмазов от образующегося шлама.

Минимально необходимое количество промывочной жидкости, обеспечивающее вынос частиц шлама из керноприемной трубы, может быть рассчитано по формуле

$$Q = Fv_b, \quad (5-28)$$

где F — площадь проходного сечения; v_b — скорость восходящего потока промывочной жидкости.

Скорость восходящего потока промывочной жидкости должна обеспечивать вынос частиц любой формы и максимального размера. В рассматриваемом случае использования технических средств с обратной промывкой скорость восходящего потока должна обеспечивать вынос всего объема шлама через промывочные каналы матрицы алмазной коронки.

Объем образующегося шлама V прямо пропорционально связан с механической скоростью бурения v_m и может быть определен по формуле

$$V = F'v_m t, \quad (5-29)$$

где F' — площадь разрушаемой части горной породы; t — время бурения.

Площадь разрушаемой части горной породы

$$F' = \pi (D^2 - d_{3,p}^2)/4, \quad (5-30)$$

где D — наружный диаметр алмазной коронки; $d_{3,p}$ — внутренний диаметр зоны разрушаемой породы.

Тогда

$$V = \pi (D^2 - d_{3,p}^2) v_m t / 4. \quad (5-31)$$

Полученный объем твердой фазы должен быть вынесен через промывочные окна матрицы алмазной коронки в заданное время выноса t_b . Эффективное разрушение породы на забое скважины возможно только при условии полной и своевременной очистки скважины от шлама, образующегося под торцом и в зоне матрицы алмазной коронки. Для обеспечения указанного условия скорость выноса шлама должна превышать ско-

рость его образования, т. е. $t_B \leq t$. Для практических расчетов можно принять граничное условие $t_B = t$.

Тогда скорость выноса шлама v_B может быть определена из следующего выражения:

$$v_B = \pi (D^2 - d_{3,p}^2) v_m / (4 \Sigma F_i), \quad (5-32)$$

где ΣF_i — суммарное проходное сечение промывочных каналов.

Подставляя выражение (5-32) в формулу (5-28), получим

$$Q = F \pi (D^2 - d_{3,p}^2) v_m / (4 \Sigma F_i). \quad (5-33)$$

Расчетное количество промывочной жидкости должно быть скорректировано в целях максимального приближения к реальным условиям. Для этого необходимо учесть следующее:

— масса шламового материала для обеспечения его выноса должна быть переведена в транспортабельное состояние путем перевода твердой фазы во взвешенное состояние в промывочной жидкости (для обеспечения транспортабельного состояния шламового материала принимаем минимальное соотношение твердой и жидкой фазы равным 1/5—1/10, т. е. коэффициент разубоживания $K_p = 5 \div 10$);

— если шламовый материал, особенно крупные его фракции, могут быть вынесены только через промывочные каналы, то в целом поток промывочной жидкости проходит также и непосредственно в зоне подрезных алмазов, омывая последние (соотношение площадей промывочных каналов и суммарного сечения прохода промывочной жидкости учитывается эмпирическим коэффициентом $\eta = 0,3 \div 0,5$ в зависимости от выпуска подрезных алмазов);

— в керноприемную трубу при обратной промывке поступает только часть промывочной жидкости, и доля эта определяется значением гидравлического подпора, создаваемого специальными устройствами в затрубном пространстве. Соответственно коэффициент, учитывающий количество промывочного агента, поступающего внутрь керноприемной трубы, может быть с достаточной степенью достоверности установлен в пределах $K_1 = 1,0 \div 2,0$;

— рассчитанное по формуле (5-33) значение расхода промывочной жидкости соответствует минимально необходимой скорости выноса шлама в пределах сечения промывочных каналов. Однако для обеспечения указанной скорости в пределах полного внутреннего сечения керноприемной трубы расход промывочной жидкости должен быть существенно увеличен. Увеличение расхода промывочной жидкости в этом случае предлагаются учесть коэффициентом K_2 , учитывающим соотношение проходных сечений промывочных каналов и керноприемной трубы. Значения коэффициента K_2 для некоторых специальных

Таблица 5-6

Значения эмпирического коэффициента K_2

Показатель	Типоразмер технических средств		
	ТДН-59-0	ТДН-76-0	ТДН-93-0
K_2	11,95	10,69	15,58

технических средств с обратной промывкой приводятся в табл. 5-6.

После введения указанных коэффициентов формула (5-33) принимает окончательный вид

$$Q = \pi (D^2 - d_{3,p}^2) v_m K_p K_1 K_2 / (4\eta). \quad (5-34)$$

Формула (5.34) связывает математической зависимостью расход промывочной жидкости с основными конструктивными элементами алмазной коронки и с механической скоростью бурения. Рассчитанный по формуле расход промывочной жидкости обеспечивает эффективную очистку призабойной части скважины от первичного и вторичного шлама. Однако поток промывочной жидкости должен также обеспечивать вынос частиц шлама любой формы и любой крупностью (до 5,0 мм) из кернового зазора керноприемной трубы, во избежание зашламования проходных зазоров в керноприемной трубе.

Минимальный критический расход промывочной жидкости Q_{kp} , обеспечивающий вынос частиц критических размеров, рассчитывается по формулам гидравлики:

$$Q_{kp} = [\pi (d_b^2 - d_k^2)/4] v_b, \quad (5-35)$$

где d_b — внутренний диаметр керноприемной трубы; d_k — диаметр керна.

Скорость восходящего потока v_b определяется по формуле

$$v_b = K_n (I + C), \quad (5-36)$$

где I — скорость падения частицы под действием силы тяжести, м/с; C — скорость выноса, м/с ($C=0,3 I$); K_n — коэффициент неравномерности ($K_n=1,3$).

Скорость падения частицы под действием силы тяжести

$$I = K_\phi \sqrt{\frac{d_n (\rho_p - \rho)}{\rho}}, \quad (5-37)$$

где d_n — критический диаметр частицы; ρ_p — плотность породы, ρ — плотность промывочного агента; K_ϕ — коэффициент формы ($K_\phi=5,11$).

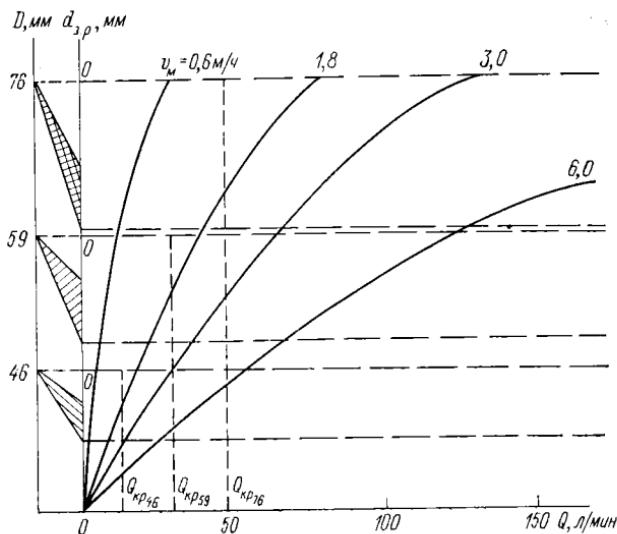


Рис. 5-8. Номограмма оперативного расчета минимального количества промывочной жидкости при бурении с использованием специальных технических средств с обратной промывкой.

В общем виде должно выдерживаться соотношение $Q \geq Q_{\text{кр}}$. Минимальные количества, рассчитанные по средним значениям коэффициентов промывочной жидкости при бурении с использованием специальных технических средств с обратной промывкой, приводятся в табл. 5-7. Для определения минимально необходимого количества промывочной жидкости Q и оценки его по критическому расходу $Q_{\text{кр}}$ для наиболее распространенных

Таблица 5-7

Расчетные значения минимального количества промывочной жидкости Q , дм³/мин, при бурении с использованием специальных технических средств с обратной промывкой

Механическая скорость бурения v_m , м/ч	Диаметр коронки D , мм					
	46		59		76	
	специальная коронка	специальная коронка с увеличенной зоной разрушения	специальная коронка	специальная коронка с увеличенной зоной разрушения	специальная коронка	специальная коронка с увеличенной зоной разрушения
0,6	4,79	5,61	6,50	9,37	12,74	18,33
1,8	13,01	16,90	19,50	28,11	38,23	54,99
3,0	21,69	28,10	32,50	46,86	63,71	91,64
6,0	43,36	56,20	65,0	93,71	127,43	183,29

диаметров бурения можно воспользоваться nomogrammой оперативного расчета минимального количества промывочной жидкости при бурении с применением специальных технических средств с обратной промывкой (рис. 5-8).

ФОРМИРОВАНИЕ КЕРНА В ЗОНЕ МАТРИЦЫ АЛМАЗНОЙ КОРОНКИ ПРИ ПОЛНОМ ЕГО САМОЗАКЛИНИВАНИИ В КЕРНОПРИЕМНОЙ ТРУБЕ

При нормальном, неосложненном, процессе бурения мощность на разрушение горной породы алмазной коронкой распределяется следующим образом: основные затраты мощности (70—80 %) приходятся на разрушение горной породы объемными алмазами и на формирование кольцевого забоя; оставшаяся мощность расходуется на окончательное формирование столбика керна и калибрование ствола скважины подрезными алмазами.

В случае полного заклинивания керна в керноприемной трубе процесс разрушения породы на забое скважины приостанавливается. При этом мощность, затрачиваемая на разрушение горной породы, практически полностью передается на столбик керна, находящийся в зоне матрицы алмазной коронки. В этом случае полный крутящий момент, передаваемый на керн, определяется по следующей формуле:

$$M_k = W/(2\pi n), \quad (5-38)$$

где W — мощность, затрачиваемая на бурение, n — частота вращения.

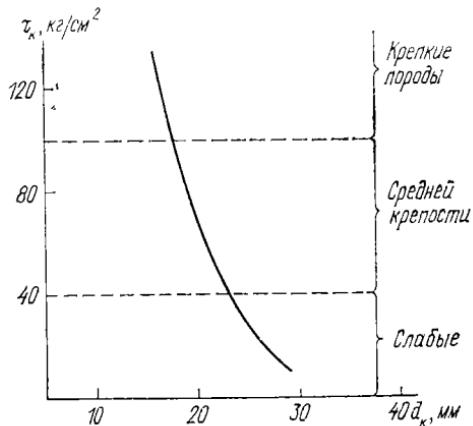
Исходя из значения крутящего момента, можно рассчитать по формуле (5.18) напряжение на скручивание τ_k , развивающееся в столбике керна при его самозаклинивании. Для расче-

Таблица 5-8

Расчетные напряжения скручивания керна τ_k ($n = 500$ мин $^{-1}$)

Показатель	Диаметр коронки, мм							
	46		59		76			
	Тип матрицы коронки по толщине							
уменьшен- ная	стандартная	специальная (толщен- ная)	уменьшен- ная	стандартная	специальная (толщен- ная)	стандартная	специальная (толщен- ная)	
τ_k , даН/см 2	72,32	133,25	287,14	54,43	66,94	115,68	15,25	26,2

Рис. 5-9. Зависимость напряжения кручения τ_k от диаметра выбуриваемого керна d_k .



тогов приняты средние значения измерений мощности, полученные авторами при стендовых исследованиях процесса кернообразования. Частота вращения бурового снаряда взята по практическим оценкам усредненных частот, принятых при бурении скважин в геологоразведочных организациях отрасли. Результаты расчетов напряжения скручивания, действующего на керн, приводятся в табл. 5-8. Зависимость значения τ_k от диаметра выбуриваемого керна при частоте вращения $n = 500 \text{ мин}^{-1}$ показана на рис. 5-9.

Таким образом, в начальный период самозаклинивания при малых напряжениях сжатия керн работает в основном на скручивание и развивающиеся значения τ_k достаточны для отделения столбика керна от забоя при бурении слабых и средней крепости пород, особенно при бурении коронками малого диаметра. По мере развития процесса самозаклинивания сжимающие усилия на контакте столбика керна — забой скважины возрастают до значений, соответствующих осевой нагрузке на породоразрушающий инструмент, и на указанном контакте столбик керна начинает работать на сдвиг.

Механизм передачи мощности на разрушение керна при его скручивании и сдвиге в принципе адекватны. Тогда, подставляя в формулу (5-18) выражение (5-38) и преобразуя ее, получаем выражение

$$\tau_{\text{сдв}} = W/(2\pi^2 n r_k^3), \quad (5-39)$$

где r_k — радиус керна.

Из формулы (5-39) следует, что напряжение сдвига может возрастать под воздействием двух основных факторов:
— увеличения мощности, передаваемой на забой, при постоянной частоте вращения бурового снаряда;

**Напряжения сдвига $\tau_{\text{сдн}}$, кг/см², при самозаклинивании
керна на разных частотах вращения бурового снаряда
($W_{\text{заб}} = \text{const}$)**

Частота вращения бурового снаряда n , мин ⁻¹	Диаметр коронки, мм		
	46	59	76
50	1332,5	669,4	152,5
100	666,2	334,7	76,2
250	266,5	133,9	30,5
500	133,2	66,9	15,2
750	88,8	44,6	10,2
1000	66,6	33,5	7,6
1500	44,4	22,3	5,1
2000	33,3	16,7	3,8

— снижения частоты вращения бурового снаряда без увеличения мощности, передаваемой на забой.

Методическими рекомендациями и инструктивными указаниями по технологии алмазного бурения рекомендуется вести процесс бурения на максимально возможных частотах вращения бурового снаряда. Следовательно, возрастание усилия сдвига в условиях бурения может происходить только за счет снижения частоты вращения бурового снаряда вплоть до полной его остановки, что и отмечается в процессе бурения при полном самозаклинивании керна.

Представляется возможным определить значения нижних границ частот вращения бурового снаряда для обеспечения сохранности керна в процессе бурения алмазными коронками различного диаметра («керносберегающие» частоты вращения бурового снаряда). Для этого по формуле (5-39) проводится расчет напряжений сдвига на контакте столбик керна — забой скважины для различных частот вращения бурового снаряда при бурении алмазными коронками со стандартной шириной матрицы при постоянной мощности, передаваемой на забой. Расчетные напряжения сдвига приводятся в табл. 5-9. График зависимости развивающегося напряжения сдвига от частоты вращения бурового снаряда при постоянной забойной мощности приводится на рис. 5-10.

Анализ графика, приведенного на рис. 5-10, позволяет сделать следующие выводы:

— при бурении на высоких (свыше 1200 мин⁻¹) частотах вращения бурового снаряда развивающиеся при полном заклинивании керна напряжения сдвига, действующие на керн в зоне матрицы, недостаточны для разрушения керна при данной мощности станка, передаваемой на забой;

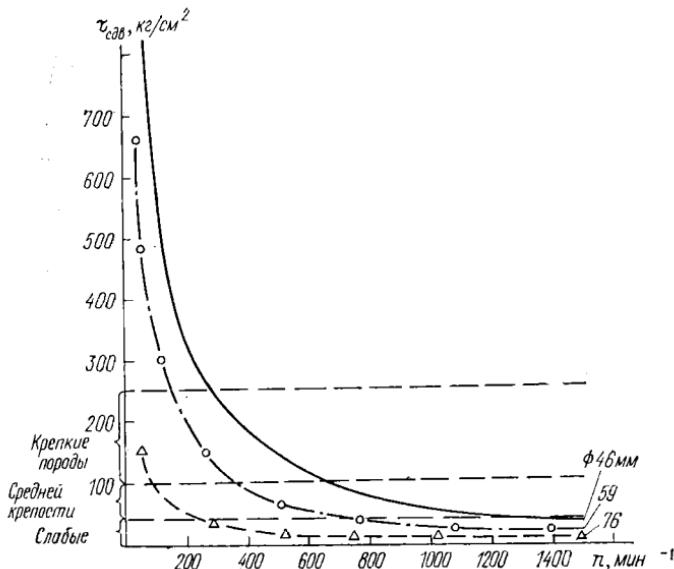


Рис. 5-10. Зависимость развивающегося в керне напряжения сдвига $\tau_{c\text{db}}$ от частоты вращения бурового снаряда n при $W_{\text{заб}} = \text{const}$.

— при бурении на принятых в настоящее время частотах вращения бурового снаряда (400 — 800 мин $^{-1}$) при полном заклинивании керна в зоне матрицы алмазной коронки развиваются напряжения сдвига, которые могут привести к разрушению керна пород средней прочности и частично прочных, особенно при бурении скважин малого диаметра (46 и 59 мм);

— при низких (ниже 200 мин $^{-1}$) частотах вращения развивающиеся в зоне матрицы при полном самозаклинивании керна напряжения сдвига при бурении скважин коронками малого диаметра (46 и 59 мм) могут привести к разрушению керна прочных и даже весьма прочных пород.

Для предупреждения разрушения керна в зоне матрицы алмазной коронки при бурении можно рекомендовать следующее.

Бурение следует вести на максимальной возможной частоте вращения бурового снаряда, определяемой мощностью станка. Особенное внимание это при бурении скважин коронками диаметром 46 и 59 мм. Теоретическими «керносберегающими» частотами вращения бурового снаряда являются следующие:

Диаметр коронки, мм	76	59	46
Частота, мин $^{-1}$	200	800	1200

При остановке станка при бурении со ступенчатой коробкой скоростей или при резком уменьшении частоты вращения у станков с плавным приводом необходимо принять меры к лик-

видации возникшего самозаклинивания керна. После принятых мер возвращаются на режимы рекомендуемых «керносберегающих» частот вращения либо поднимают буровой снаряд на поверхность. Режимы бурения на частотах вращения ниже 200 мин⁻¹ следует полностью исключить. Указанные режимы могут быть допущены только в отдельных случаях при бурении скважин специального назначения коронками диаметром 93 и 112 мм.

ИЗНОС КЕРНА В КЕРНОПРИЕМНОЙ ТРУБЕ В ПРОЦЕССЕ БУРЕНИЯ

ФОРМИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ ИЗНОСА КЕРНА В КЕРНОПРИЕМНОЙ ТРУБЕ

Важнейшими факторами технического и технологического характера, влияющими на разрушение керновой пробы, являются: количество и качество промывочной жидкости; вибрации бурового снаряда (продольные и поперечные); время пребывания керна в керноприемной трубе, диаметр и конструкция колонкового снаряда; направление потока промывочной жидкости.

Степень защиты керна от износа определяется конструктивными характеристиками и принципом действия специальных технических средств для отбора керна. В колонковом бурении выделяют три основные принципиальные схемы износа керна:

- в одинарном колонковом снаряде при прямой промывке;
- в неподвижной керноприемной трубе двойного колонкового снаряда практически без влияния промывочного агента;
- в неподвижной керноприемной трубе двойного колонкового снаряда при воздействии на керновый материал обратного восходящего потока промывочной жидкости.

Исследования, проведенные в ВИТР и ряде других научно-исследовательских организаций, позволили разработать и научно обосновать модель процесса износа керна в керноприемной трубе при колонковом бурении. Общий вид разработанной модели показан на рис. 5-11.

При разработке модели износа керна все горные породы по степени трещиноватости (показателю удельной кусковатости керна $K_{уд}$) условно разделены на две градации:

- монолитные и слаботрещиноватые породы ($K_{уд} \leq 10$ шт./м);
- средне- и сильнотрещиноватые раздробленные породы ($K_{уд} > 10$ шт./м).

При разработке модели износа керна в керноприемной трубе под трещиноватостью горных пород понимается степень трещиноватости в исходном массиве горных пород.

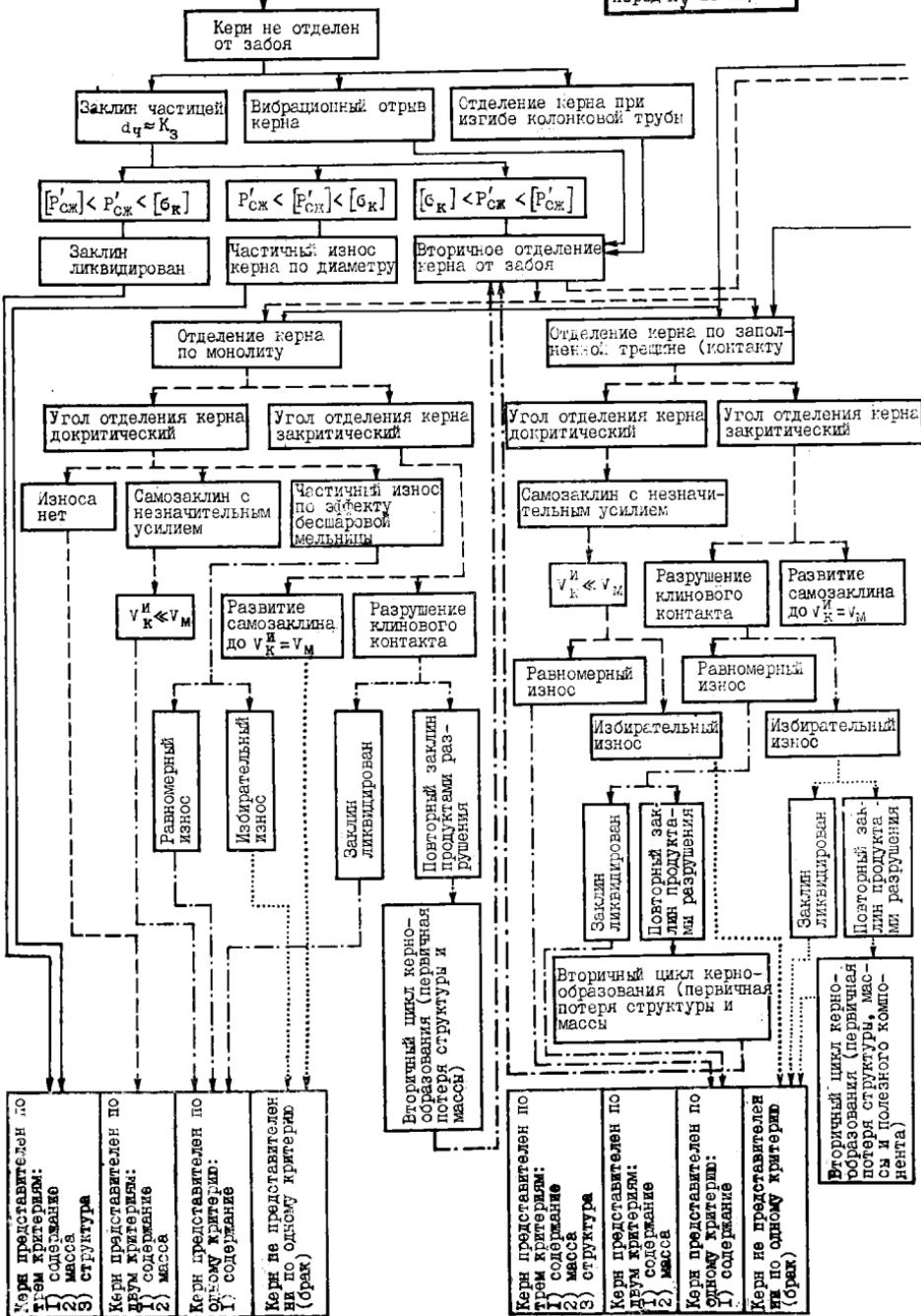
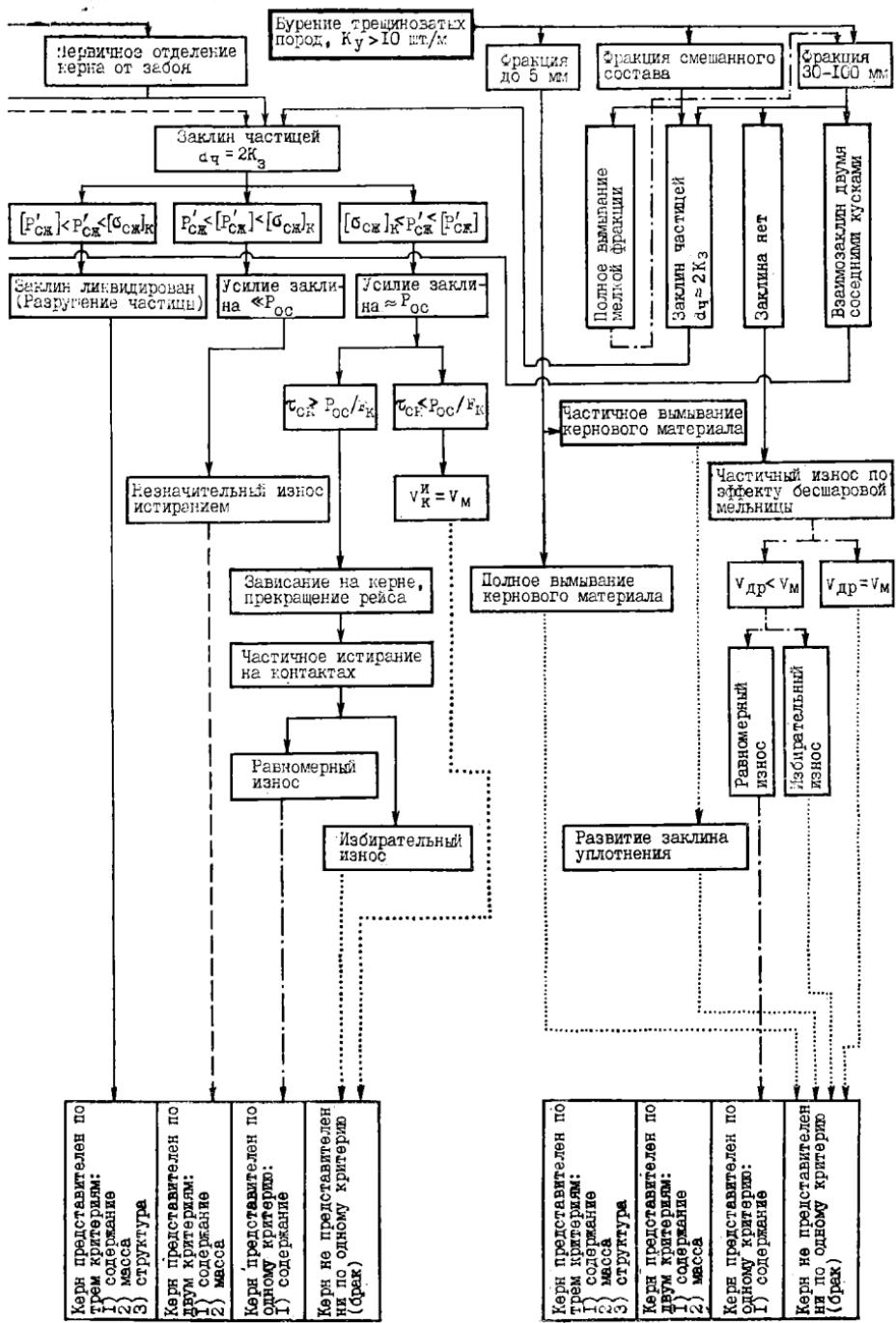


Рис. 5-11. Структурная схема процесса износа керна в колонковой трубе



при бурении с одинарным колонковым снарядом.

Таблица 5-10

Физико-механические характеристики горных пород

Порода	Пределы прочности пород, даН/см ²		
	на растяжение [σ_p]	на одноосное сжатие [$\sigma_{сж}$]	на скальвание [$\tau_{ск}$]
Песчаник разной степени сцементированности	5,4—10,0	25,0—260,0	2,0—50,0
Алевролит разной степени сцементированности	4,1—6,8	36,0—170,0	2,8—21,0
Известняк плотный	9,2	114,5—164,0	11,5—20,0
Известняк пористый	—	18,0—114,5	1,4—11,5
Доломит	—	162,0	11,8
Гипс	—	19,5—62,0	1,5—4,0
Анdezит	5,8	98,5	9,6
Туф	6,7	115,6	11,0
Гранит мелкозернистый	12,0	166	19,8
Гранит среднезернистый	14,3	259,2	22,0
Габбро	13,5	230,0	24,4
Кварцит	14,4	305,0	31,6
Диабаз	13,4	343,0	34,7
Сиенит-порфир	14,3	225,0	29,6
Сиенит	14,3	215,2	22,1
Альбитофибр	11,9	172,8	28,2

При анализе развития процесса износа керна следует различать также первичную и вторичную трещиноватость пород. В зависимости от трещиноватости могут иметь место два возможных варианта исходных условий процесса кернообразования: столбик керна поступает в керноприемную трубу неотделенный от забоя, и столбик керна, поступивший в керноприемную трубу, отделен от забоя по естественной трещине.

При разработке модели износа керна из большого числа измеряемых физико-механических свойств горных пород приняты следующие имеющие наиболее существенное значение при изменениях физического состояния керна физико-механические характеристики материала керновой пробы: пределы прочности горной породы: на растяжение [σ_p]; на одноосное сжатие [$\sigma_{сж}$]; на скручивание [τ_k]; на скальвание [$\tau_{ск}$].

Указанные физико-механические характеристики определяются лабораторным методом, изложенным в соответствующих инструкциях и рекомендациях. Значения физико-механических характеристик для некоторых типов горных пород приводятся в табл. 5-10.

Развитие процесса кернообразования в значительной степени зависит также от фракционного состава, т. е. от крупности частиц горной породы, входящих в керновую пробу. Практика геологоразведочных работ показывает, что при бурении

Таблица 5-11

**Схема факторов кернообразования, приводящих к износу керна
в керноприемной трубе**

Геологические	Технические	Технологические
Трещиноватость пород	Диаметр керна	Поперечная вибрация бурового снаряда
Перемежаемость пород по твердости	Конструкция колонкового снаряда	Количество и химический состав промывочной жидкости
Структура пород	Способ удаления продуктов разрушения	Осевая нагрузка на инструмент
Вторичные изменения пород	Класс чистоты внутренней поверхности керноприемной трубы	Продольная вибрация бурового снаряда
Текстура пород Угол встречи пластов с осью скважины Категория пород по буримости Глубина залегания пород Аbrasивность пород		Углубка за рейс Частота вращения бурового снаряда

средне- и сильнотрещиноватых раздробленных пород ($K_{уд} > 10$ шт./м) керновая проба представлена различными фракциями по крупности, в том числе:

- отдельными плашками керна размером 30—100 и более 100 мм при бурении коронками диаметром соответственно 46—93 и 112 мм;

- частицами крупностью до 5 мм при интенсивном дроблении горных пород;

- фракциями смешанного состава, представленными отдельными плашками керна размером 30—100 мм вперемешку с частицами различной крупности.

Подавляющее большинство керновых проб представлено фракциями смешанного состава, однако при разработке модели процесса формирования и сохранности керна в колонковой трубе приняты эти три фракционных состава.

Износ кернового материала при бурении происходит непосредственно под породоразрушающим инструментом в момент формирования керна и в керноприемной трубе во время заполнения ее керновым материалом. Степень износа керна зависит от целого ряда факторов, приводящих к деформациям и к разрушению керна. Схема факторов кернообразования (табл. 5-11), приводящих к износу керновой пробы в керноприемной трубе, разработана на основе «Классификации факторов кернообразования» [45].

Работами ряда авторов [13, 46] и проведенными в ВИТР исследованиями установлено, что основными предпосылками износа керна можно считать наличие естественной трещиноватости горных пород и наличие условий для вторичного дробления керна.

Износ керна при бурении монолитных и слаботрещиноватых пород ($K_{уд} \leq 10$ шт./м) определяется следующими факторами:

- наличием частиц мелкой фракции керна, приводящих к заклиниванию монолитного столбика керна в керноприемной трубе;

- вибрацией керноприемной трубы, приводящей к сколам керна по торцу монолита и к отрыву керна от забоя;

- углубкой за рейс, определяющей критическую длину не нарушенного монолитного керна.

Теоретические расчеты и анализ результатов стендовых и производственных исследований позволили установить, что доминирующую роль в процессе отделения столбика керна от забоя скважины играет заклинивание неотделенного столбика частицами мелких фракций керна. На втором по значимости месте стоит вибрационный отрыв керна матрицей алмазной коронки или рвательным кольцом. Отрыв керна при изгибе колонкового снаряда имеет подчиненное значение.

Вибрации керноприемной трубы при бурении, приводящие в определенных условиях к сколу монолитного керна, создают предпосылки для микросколов по торцу монолитных столбиков керна и тем самым ведут к образованию различных по крупности фракций дробленого материала керновой пробы.

По мнению авторов, в развитии процесса заклинивания керна существенную роль играют частицы дробленого керна, сопоставимые по размерам с зазором между керном и керноприемной трубой K_3 (керновый зазор), и частицы дробленого керна, сопоставимые по размерам с двойным керновым зазором $2K_3$.

Частицы размером менее кернового зазора K_3 легко выносятся потоком промывочной жидкости под торец коронки и в затрубное пространство. Частицы размером $2K_3$ и более при неотделенном столбике керна не выносятся промывочной жидкостью и остаются в составе керновой пробы в качестве фракции вторичного дробления.

Основной предпосылкой развития процесса износа керна в колонковой трубе при неотделенном столбике керна является попадание в керновый зазор сопоставимых с его размером скользящих частиц керна.

Под воздействием вращающейся колонковой трубы и закрученного потока промывочной жидкости частицы мелкой фракции, способные проникнуть в керновый зазор, начинают перемещаться по винтовой линии, втягиваясь в керновый зазор,

расклиниваясь между неотделенным столбиком керна и керноприемной трубой. При этом процесс может протекать в следующих основных направлениях.

1. Усилие сжатия частицы керна достаточно для ее раздавливания, но меньше прочности на скручивание основного столбика керна, т. е. процесс протекает в условиях, определяемых следующим неравенством: $[\sigma_{сж}] < \sigma_{сж}' < [\sigma_к]$, где $[\sigma_{сж}]$ — предел прочности на сжатие единичной частицы мелкой фракции керна; $\sigma_{сж}'$ — напряжение сжатия единичной частицы мелкой фракции керна; $[\sigma_к]$ — предел прочности основного столбика керна на скручивание. При этом сжимающее усилие, действующее на отдельную частицу керна, не может превышать значение осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент. Таким образом, в указанных условиях единичная частица мелкой фракции керна раздавливается, выносится в затрубное пространство.

2. Усилие сжатия частицы керна недостаточно для ее разрушения и срыва основного столбика керна, т. е. $\sigma_{сж}' < [\sigma_{сж}] < < [\sigma_к]$. В этом случае под воздействием вращающейся колонковой трубы мелкая фракция керна с заданным усилием передвигается к забою, нарезая на основном керне бороздку. Процесс бурения затрудняется вследствие разложения осевой нагрузки на вертикальную и тангенциальную составляющие, происходит частичное истирание и потеря кернового материала (процент потерь незначителен — до 3—4 % от массы керна). Структура керна и истинное содержание полезного компонента при этом не претерпевают изменений, вследствие чего керновая проба может считаться представительной по всем трем критериям качества.

3. Усилие сжатия частицы керна мало для ее разрушения, но достаточно для срыва скручиванием основного столбика керна. Соотношение усилий, определяющих течение процесса в этом случае, распределяется следующим образом $[\sigma_{кр}] < < \sigma_{сж}' < [\sigma_{сж}]$, т. е. происходит отрыв столбика керна по сечению наименьшей прочности и подклинивание его в колонковой трубе. Указанное соотношение усилий, действующих на неотделенный столбик керна и единичную частицу мелкой фракции, позволяет рассчитать критические размеры единичной частицы мелкой фракции керна, при которых возникает возможность отрыва керна от забоя.

Для упрощения расчетов принятые следующие допущения:

— единичная частица в керновом зазоре под воздействием нормальной реакции осевой нагрузки при поступательном движении колонковой трубы испытывает одноосное сжатие;

— динамические реакции вращательного движения не учитываются;

— форма частицы близка к шару диаметром d .

Взаимодействие системы «керноприемная труба — частица мелкой фракции — неоторванный столбик керна» происходит с усилиями, определяемыми в конечном итоге осевой нагрузкой на породоразрушающий инструмент. При этом значение усилия P , действующего на частицу мелкой фракции, определяется выражением

$$P = P_{oc}f, \quad (5-40)$$

где P — усилие взаимодействия частицы с керноприемной трубой и неотделенным столбиком керна; P_{oc} — осевая нагрузка на породоразрушающий инструмент; f — коэффициент трения системы «порода — порода» ($f=0,3 \div 0,4$).

При нормальном течении процесса бурения частица мелкой фракции керна работает на одноосное сжатие

$$[\sigma'_{сж}] = (P_{oc}/F)f, \quad (5-41)$$

где $[\sigma'_{сж}]$ — предел прочности материала частицы на одноосное сжатие; F — площадь поперечного сечения частицы.

Учитывая принятые допущения,

$$F = \pi d_q^2/4, \quad (5-42)$$

где d_q — диаметр частицы мелкой фракции керна.

Подставляя полученное выражение в формулу (5.41), получаем

$$[\sigma'_{сж}] = 4P_{oc}f/(\pi d_{np}^2). \quad (5-43)$$

Откуда

$$d_{np} = 2 \sqrt{P_{oc}f/(\pi [\sigma'_{сж}])}, \quad (5-44)$$

где d_{np} — предельный диаметр частицы мелкой фракции керна, не разрушающейся при заданных условиях.

Рассчитанные по данной формуле критические размеры единичных частиц мелкой фракции для различных диаметров бурения достаточно хорошо согласуются с результатами экспериментальных исследований.

Зависимость кернового зазора K_3 от параметров алмазных коронок и физико-механических свойств горных пород (табл. 5-12) показывает, что образовавшийся в процессе бурения фактический керновый зазор существенно изменяется от прочности единичной частицы мелкой фракции керна на одноосное сжатие и от прочности основного столбика керна.

При попадании в керновый зазор частицы мелкой фракции керна, с размерами больше критического диаметра, ее разрушения и выноса в затрубное пространство не происходит. При движении частицы по винтовой линии по направлению к забою происходит нарастание нормальных напряжений на контактах

Таблица 5-12

Зависимость кернового зазора K_3 от параметров алмазной коронки и от физико-механических свойств горных пород (по данным стендовых исследований на высокогооборотном исследовательском стенде ВИС-3000М)

Порода	Предел прочности породы на сжатие $[\sigma_{сж}]$, МПа	Номинальный керновый зазор K_3 , мм	Износ керна по диаметру, мм	Фактический керновый зазор K_3 , мм
Коронка АКС-46				
Гранит	180	1,5	2,9—3,8	3,0—3,5
Цементный блок	40	1,5	5,8—7,2	4,4—5,1
Коронка АКМ-46				
Гранит	180	3,0	0,8—1,2	3,4—3,6
Цементный блок	40	3,0	3,2—4,0	4,6—5,0
Коронка АК-1-59				
Гранит	180	3,0	2,5—3,2	4,2—4,6
Цементный блок	40	3,0	4,8—6,0	5,4—6,0

системы керноприемная труба — частица керна вплоть до условия

$$P'_{сж}/F \geq [\sigma_{пр}],$$

где $[\sigma_{пр}]$ — предельное усилие на скручивание основного столбика керна.

При этом столбик керна отделяется от забоя. Условия, при которых происходит заклинивание и последующее отделение керна от забоя, могут быть различными. В одном случае заклинивание неотделенного столбика керна происходит большим количеством мелких частиц керна. При этом керн испытывает только воздействие крутящего момента, передаваемого от вращающегося колонкового снаряда. В другом случае керн заклинивается одной или несколькими частицами, но при этом нет всестороннего охвата керна. Керн кроме напряжения скручивания испытывает напряжение изгиба.

Для расчета критических напряжений срыва керна можно воспользоваться формулами из теории сопротивления материалов, рассматривая неотделенный от забоя столбик керна как консольный стержень круглого сечения.

В первом случае условие прочности керна выражается известной формулой

$$\tau_{max} = M_k/W_p \leq [\tau], \quad (5-45)$$

где M_k — крутящий момент; W_n — полярный момент сопротивления поперечного сечения керна ($W_n = \pi d^3/16$); $[\tau]$ — допускаемое касательное напряжение.

Поскольку предельный крутящий момент является постоянным для конкретного бурового станка, устойчивость керна в данном случае определяется его диаметром d_k :

$$d_k \geq 2 \sqrt[3]{2M_k / (\pi [\tau])}. \quad (5-46)$$

Для хрупких материалов, к которым относится большинство кристаллических горных пород, допускаемое касательное напряжение $[\tau]$ принимается равным 0,7—0,8 допускаемого напряжения на растяжение $[\sigma_r]$.

Для практического пользования этой формулой необходимо сделать следующие допущения:

- при заклинивании керн не испытывает напряжений изгиба;
- напряжениями сжатия, возникающими в заклиниенном керне при углубке скважины, можно пренебречь;
- действие крутящего момента не носит характера удара.

Во втором случае, когда керн заклинивается одной частью, на него помимо крутящего момента действует изгибающий момент, создаваемый горизонтальной составляющей усилия самозаклинивания. Значением его вертикальной составляющей, которая создает в керне напряжение сжатия, можно пренебречь.

Условие прочности керна при совместном действии кручения и изгиба определяется согласно теории наибольших нормальных напряжений:

$$(1/2) (\sigma_n + \sqrt{\sigma_n^2 + 4\tau_k^2}) \leq [\sigma], \quad (5-47)$$

где σ_n — наибольшее нормальное напряжение изгиба; τ_k — наибольшее напряжение кручения.

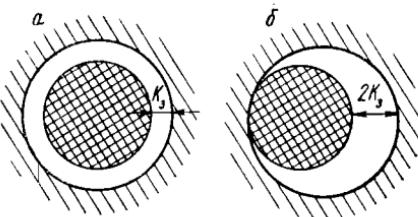
Проведя соответствующие преобразования, условие прочности керна при совместном действии кручения и изгиба можно выразить в следующем виде:

$$\sigma = [2(P_r l + \sqrt{P_r^2 l^2 + M_k^2})]/(\pi r^3) \leq [\sigma], \quad (5-48)$$

где M_k — момент кручения; P_r — горизонтальная составляющая усилия самозаклинивания; l — расстояние от забоя до места возникновения заклинивания керна; r — радиус керна.

Таким образом, в данном случае устойчивость керна зависит не только от его диаметра, но и от силы P_r и расстояния от забоя до места заклинивания керна. Отделение монолитного столбика керна от забоя может происходить по однородной монолитной породе (чистый излом) с незначительным дополнительным дроблением и сколами материала керна; по ослаблен-

Рис. 5-12. Форма кернового зазора при неотделенном от забоя столбике керна (а) и при отделенном от забоя столбике керна (б).



ному сечению (заполненная трещина, контакт горных пород и т. д.) с незначительным дроблением и сколами материала керна; с существенным дополнительным дроблением и сколами материала керновой пробы. В первых двух случаях при отделении от забоя монолитного кернового столбика происходит смещение последнего от оси скважины к стенке керноприемной трубы на расстояние, равное керновому зазору, под действием вибраций и центробежных сил вращающегося колонкового снаряда. В результате данного процесса керновый зазор приобретает серповидную форму (рис. 5-12) и в максимальном раскрытии может достигать размеров двух керновых зазоров $2K_3$.

При этом частицы мелкой фракции керновой пробы размером, сравнимым с K_3 , освобождаются из соприкосновения с другими составляющими системы «керноприемная труба — частица — столбик керна» и под воздействием потока промывочной жидкости свободно перемещаются к забою скважины. В связи с изменившейся формой кернового зазора, создаются условия для проникновения в него частиц породы размером $2K_3$. При этом необходимо учитывать, что если с частицами мелкой фракции размерами, сопоставимыми с K_3 , связаны срыв монолитного столбика керна, его износ по диаметру и только при определенных условиях самозаклинивание, то частицы мелкой фракции, сопоставимые по размерам с $2K_3$, способствуют возникновению и развитию процесса самозаклинивания керна. В этом случае размер частиц мелкой фракции практически для любых горных пород превышает критический размер частицы. В целом заклинивание керна в керноприемной трубе — достаточно многосторонний процесс и может возникать при различных условиях.

Ориентировочная классификация условий, при которых высока вероятность возникновения самозаклинивания керна:

- заклинивание столбиков монолитного или слаботрещиноватого керна единичными кусочками керна мелкой фракции (до 5,0 мм) — «заклинивание прихвата» (рис. 5-13, а);

- взаимозаклинивание общей массы раздробленного керна (фракция до 5 мм) путем оседания и взаимоперемещения отдельных кусочков керна — «заклинивание уплотнения» (рис. 5-13, б);

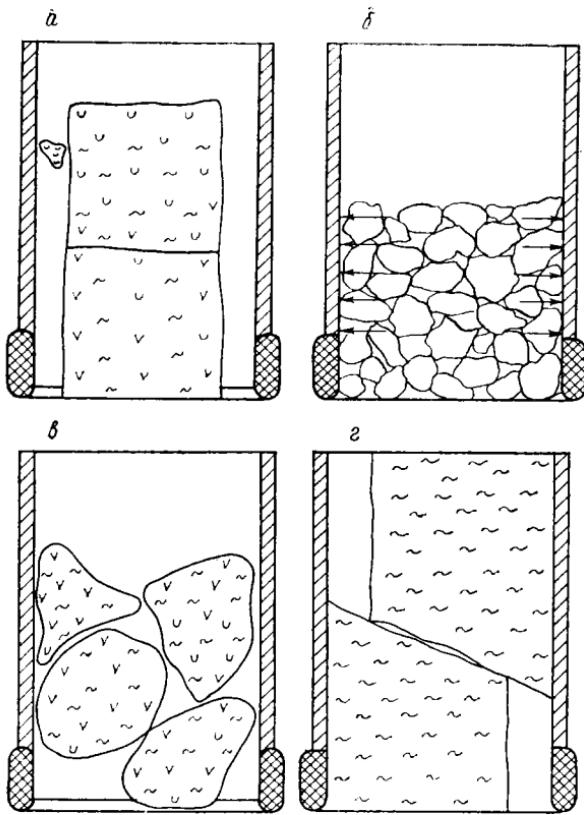


Рис. 5-13. Виды заклинивания кернового материала.

a — заклинивание столбика монолитного керна единичным куском керна — заклинивание прихватом; *б* — взаимозаклинивание общей массы раздробленного керна — заклинивание уплотнением; *в* — взаимозаклинивание отдельных кусков керна — заклинивание взаимоприхватом; *г* — заклинивание по клиновому контакту двух рядом расположенных кусков керна — заклинивание клиновое.

— взаимное заклинивание трещиноватого керна (с крупностью 5—20 мм) путем взаимного распора и множественных подклиниваний — «заклинивание взаимоприхватом» (рис. 5-13, в);

— взаимное заклинивание двух рядом расположенных столбиков монолитного и слаботрещиноватого керна путем сдвига друг относительно друга по плоскости скола — «заклинивание клиновое» (рис. 5-13, г).

При отделении керна от забоя по заполненной трещине в слаботрещиноватых породах и по монолиту в монолитных породах площадка отделения определяется или направлением

естественной трещины, или направлением ослабленного сечения монолитной структуры и может быть ориентирована практически под любым углом к оси керна. При ориентировке площадки отделения под углом к оси керна и поступательном перемещении керна в колонковой трубе создаются предпосылки для его заклинивания. Вероятность возникновения, а также усилие самозаклинивания зависят от угла наклона площадок отделения. Характер развития процесса самозаклинивания зависит и от условий движения керна в керноприемной трубе. Возможны варианты:

- поступательное движение керна без вращения (при бурении двойным колонковым снарядом с невращающейся внутренней керноприемной трубой);
- поступательное движение керна с вращением относительно керноприемной трубы (при бурении одинарным колонковым снарядом).

Условия возникновения самозаклинивания керна для случая отделения керна с ориентированием площадки отделения под углом к плоскости поперечного сечения керна при бурении двойными колонковыми снарядами с невращающейся внутренней керноприемной трубой достаточно подробно рассмотрены А. З. Левицким [46].

Теоретические расчеты выполнены для условий, когда имеет место только осевое перемещение керна относительно керноприемной трубы. При этом на характер взаимодействия плашек керна между собой и керноприемной трубой влияют следующие факторы:

- коэффициенты трения между керном и керноприемной трубой и между плашками керна (f_1, f_2);
- диаметр керна и внутренний диаметр колонковой трубы (d_k, d_t);
- длина нижней и верхней плашек керна по его оси (l_1, l_2);
- угол между плоскостью поперечного сечения колонковой трубы и плоскостью площадки отделения.

Общий вид схемы расклинивания приводится на рис. 5-14. Теоретическими расчетами показано, что наиболее существенными факторами подклинивания в данном случае являются отношение внутреннего диаметра керноприемной трубы к длине верхней плашки d_t/l_2 и угол между плоскостью площадки отделения и плоскостью поперечного сечения колонковой трубы β .

Расчеты, проведенные А. З. Левицким, показывают, что при бурении специальными техническими средствами с невращающейся внутренней керноприемной трубой критический угол между плоскостью поперечного сечения колонковой трубы и плоскостью площадки отделения, при котором начинается развитие процесса взаимозаклинивания плашек керна, составляет

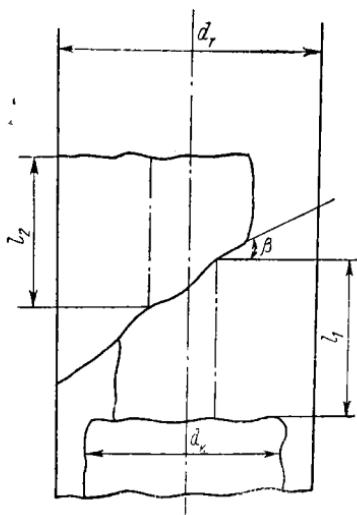


Рис. 5-14. Схема расклинивания керна при ориентировке площадки отделения под углом к плоскости поперечного сечения скважины.

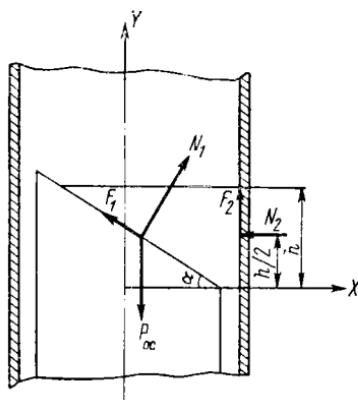


Рис. 5-15. Схема распределения сил взаимодействия системы керн — керноприемная труба при взаимозаклинивании двух плашек керна.

около 60° . Соответственно критический угол между плоскостью площадки отделения и осью керна составляет 30° .

Условия возникновения самозаклинивания при поступательном движении керна с вращением относительно керноприемной трубы при бурении одинарным колонковым снарядом освещены в работе Н. Т. Туякбаева и др. [13], в которой в какой-то мере учтены эффекты взаимодействия между плашками керна и вращающейся колонковой трубой.

Схема распределения сил взаимодействия системы керн — керноприемная труба приводится на рис. 5-15.

Теоретическими расчетами Н. Т. Туякбаева с соавторами доказано, что

$$N_1 = P_{oc} / [\cos \alpha (1 - f_1 f_2) + \sin \alpha (f_1 + f_2)]; \quad (5-49)$$

$$N_2 = (\sin \alpha - f_1 \cos \alpha) P_{oc} / [\cos \alpha (1 - f_1 f_2) + \sin \alpha (f_1 + f_2)], \quad (5-50)$$

где N_1 и N_2 — нормальные составляющие осевой нагрузки; α — угол ориентирования площадки отделения керна относительно плоскости поперечного сечения скважины; f_1 и f_2 — коэффициенты трения на контактах керн — керн, керн — колонковая труба. По данным Л. И. Барона, указанные коэффициенты трения составляют соответственно $f_1 = 0,3 \div 0,4$, $f_2 = 0,6 \div 0,8$.

Расчеты показали, что при бурении одинарной колонковой трубы при отделении плашки керна с ориентировкой площадки

отделения под углом к оси скважины процесс взаимозаклинивания начинает развиваться при значениях угла между плоскостями площадки отделения и поперечного сечения скважины в пределах $30—40^\circ$, что соответствует критическому углу заклинивания в пределах $50—60^\circ$.

В целом необходимо отметить, что при бурении одинарной трубой по сравнению с условиями бурения специальными техническими средствами с невращающейся керноприемной трубой вероятность возникновения самозаклинивания при отделении верхней плашки керна под углом к оси скважины в $1,75—2$ раза выше. Таким образом, при бурении трещиноватых пород и пород, склонных к скальванию под углом к оси скважины, особенно при критических углах, следует принимать меры по защите керна от контакта с вращающейся поверхностью керноприемной трубы.

Если площадка отделения керна с осью скважины не составляет критический угол, процесс износа керна зависит от характеристики зоны излома: отделение может происходить по ослабленной зоне монолитной породы или по контакту различных по физико-механическим свойствам горных пород. В любом случае при докритических углах отделения сами предпосылки износа могут характеризоваться, как правило, тремя вариантами:

- отсутствие износа при перпендикулярности площадки отделения к оси скважины и при низком уровне вибраций бурового снаряда;

- возникновение микрозаклиниваний с незначительными усилиями;

- частичный износ скальванием и объемным дроблением (эффект бесшаровой мельницы) при повышенном уровне вибраций и особенно в случаях отделения по контакту.

Как показывает практика геологоразведочного бурения, максимальная длина неотделенного столбика керна имеет свои пределы, которые зависят от ряда факторов:

- осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент;

- зазора между керном и керноприемной трубой (керновый зазор);

- зазора между буровым снарядом и стенками скважины;

- диаметра керна;

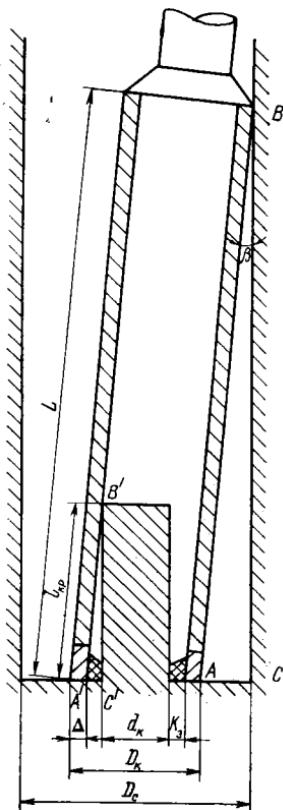
- прочности горной породы на изгиб;

- длины керноприемной трубы и т. д.

Приближенный расчет максимальной длины неотделенного столбика керна проведен С. С. Сулакшиным, который предлагает критическую длину неотделенного керна l_{kp} определять из выражения

$$l_{kp} = 2Ls_1 \cos \delta / (D_c - D_{k.c}), \quad (5-51)$$

Рис. 5-16. Схема расчета критической длины столбика керна, неотделенного от забоя.



где L — длина колонкового снаряда; s_1 — зазор между стенкой скважины и колонковой трубой при отклонении колонкового снаряда; δ — угол наклона снаряда в скважине; D_c — диаметр скважины; $D_{k.c}$ — диаметр колонкового снаряда.

В работе других авторов [13] предложено определять критическую длину керна с учетом изгиба колонковой трубы по синусоиде из выражения

$$l_{kp} = (l/\pi) \arcsin(K_3/e), \quad (5-52)$$

где l — длина полуволны, по которой изогнулась колонковая труба; e — стрела прогиба $e = (D_c - D_{k.c})/2$; K_3 — зазор между керном и колонковой трубой.

Однако в практических расчетах определение длины полуволны изогнутого колонкового снаряда представляет известную трудность. Кроме того, контакт керна с колонковой трубой зависит прежде всего от соотношения зазоров между керном и колонковой трубой и между колонковой трубой и стенками скважины, поэтому в расчетах критич-

ской длины керна предположение, что колонковая труба при наклоне сохраняет прямолинейность, вполне допустимо. Особенно это касается двойных колонковых снарядов, которые обладают большей жесткостью, чем одинарные.

При выводе формулы С. С. Сулакшиным в качестве исходного принималось условие, что зазор между колонковой трубой и стенками скважины (внешний зазор) больше, чем между столбиком керна и колонковой трубой (внутренний зазор), причем последний в формуле вообще не учтен. Используемые в настоящее время технические средства отбора керна обеспечивают противоположное соотношение внешнего и внутреннего зазоров.

На взгляд авторов, при определении критической длины неотделенного столбика керна необходимо учитывать зазор между керном и колонковой трубой K_3 . Для вывода формулы критической длины неотделенного столбика керна, учитывающей керновый зазор K_3 , воспользуемся схемой, приведенной на рис. 5-16.

Из треугольников ABC и $A'B'C'$ после некоторых преобразований получаем

$$l_{kp} = 2LK_s \cos \beta / (D_c - D_{k.c.}), \quad (5-53)$$

где D_c , $D_{k.c.}$ — соответственно диаметры скважины и колонковой трубы; L — длина колонкового снаряда; β — угол наклона колонковой трубы.

Данная формула позволяет определять максимальную критическую длину неотделенного столбика керна при заданной длине колонковой трубы L , т. е. для граничного условия $l_{kp}=L$.

При наличии разработки ствола скважины, т. е. с увеличением $D_c - D_{k.c.}$, критическая длина неотделенного столбика керна снижается. Допустимое значение разработки ствола составляет

$$D_c \leq 2K_s \cos \beta + D_{k.c.} \quad (5-54)$$

При разработке ствола скважины выше этого предела существует опасность отлома столбика керна колонковой трубой.

Ввиду малых углов наклона колонкового снаряда в скважине значением $\cos \beta$ в формуле можно пренебречь. Тогда формула (5-54) принимает вид

$$D_c \leq 2K_s + D_{k.c.} \quad (5-55)$$

В табл. (5-13) приведены допустимые пределы разработки ствола скважины, не влияющие на критическую длину керна для различных технических средств его отбора.

В целях предупреждения отделения монолитного керна от забоя вследствие изгиба колонковой трубы рекомендуется: включать в комплект колонкового снаряда центрирующий переходник с износостойкими наплавками, диаметр которых близок к номинальным размерам алмазной коронки; применять алмазные коронки с увеличенной толщиной матрицы для обеспечения повышенного кернового зазора K_s . Однако надо иметь в виду, что в процессе образования керна при современном уровне применяемых для алмазного бурения технических средств указанное отделение монолитного керна от забоя практически не встречается и рассматривается в настоящей работе как теоретически возможный, хотя и маловероятный процесс.

Вращение колонкового снаряда на забое сопровождается непрерывным колебательным процессом сложного характера (вибрации бурового снаряда). По направлению воздействия на колонковый снаряд вибрации условно делятся на две группы:

- продольные, направление которых совпадает с продольной осью колонкового снаряда;
- поперечные, направление которых перпендикулярно к продольной оси колонкового снаряда.

Таблица 5-13

Допустимые пределы разработки ствола скважины

Тип алмазного породоразрушающего инструмента	Диаметр коронки, мм		Характеристика колонкового снаряда				Допустимый диаметр скважины, мм
			диаметр снаряда, мм	зазор, мм			
	наружный наружный D_K	внутренний внутренний d_K	керновый K_s	внешний			
Для одинарных колонковых труб 01А3, 01А4	46	31	44	37	3,0	1,0	50
	59	42	57	46	3,0	1,0	63
	76	58	73	63	2,5	1,5	78
14А3	59	38	57	48	5,0	1,0	67
	76	54	73	63	4,5	1,5	82
ИКС, АКС, КИТ, КАТ	46	34	44	37	1,5	1,0	47
	59	45	57	48	1,5	1,0	60
Для двойных труб типа УТ	46	31	44	32,6	0,8	1,0	47
	59	42	57	44	1,0	1,0	59
	76	58	73	60	1,0	1,5	77
Для двойных труб типа ТДН-2	59	38	57	41	1,5	1,0	60
	76	52	73	55	1,5	1,5	76
Для двойных труб типа ТДН-0	46	28	44	30	1,0	1,0	46
	59	34,5	57	39	2,25	1,0	61,5
	76	46	73	49,5	1,75	1,5	76,5
Для ССК	46	24	44	25,6	0,8	1,0	46
	59	35,4	57	37	0,8	1,5	60
Для КССК	76	48	73	50,4	1,2	1,5	77,5
	76	40	73	42	1,0	1,5	76,5

Степень влияния продольных и поперечных вибраций на процесс формирования и на сохранность керна существенно различна. Наибольшую отрицательную роль при этом играют поперечные вибрации колонкового снаряда, воздействие которых направлено на смещение оси колонкового снаряда, что в свою очередь приводит к смещению оси керна под воздействием ударных нагрузок, определяемых амплитудой и частотой поперечных вибраций бурового снаряда.

Поперечные вибрации колонкового снаряда обусловливаются: наличием несосности бурового снаряда; отклонениями в геометрической форме породоразрушающего инструмента; значением осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент;

частотой вращения бурового снаряда; объемом применения антивibrationных средств и т. д. В процессе бурения поперечные вибрации колонковой трубы создают поперечные ударные нагрузки на керн с частотой, равной частоте вибраций. При этом усилие удара, определяемое горизонтальной составляющей осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент и массой бурового инструмента, действует на пути, равном амплитуде поперечных вибраций. Проведенными авторами стендовыми исследованиями показано, что амплитуда поперечных вибраций очень тесно связана с физико-механическими свойствами горных пород, в частности с категорией пород по буримости.

Зависимость амплитуды поперечных колебаний колонкового снаряда в призабойной части скважины от категории пород по буримости по данным стендовых исследований приводится на рис. 5-17. Ударные нагрузки распространяются только в зоне, ограниченной амплитудой колебаний, и соответственно могут воздействовать на керн только при условии, если амплитуда колебаний превышает значение кернового зазора. В колонковой трубе минимальный керновый зазор находится в сечении корпуса кернорваталя по кернорвательному кольцу. При бурении коронками диаметром 46, 59 и 76 мм этот зазор по кольцу кернорваталя для одинарных колонковых снарядов со стандартными кернорвательями открытого типа с пружинным кольцом составляет соответственно 0,6, 1,0 и 1,2 мм. Таким образом, зона воздействия ударных нагрузок на керн может быть определена как разность между возможной амплитудой колебаний колонкового снаряда и значением кернового зазора.

Стендовыми исследованиями установлено, что частота и амплитуда вибраций колонкового снаряда практически прямо пропорционально зависят от параметров режима бурения, в частности от частоты вращения бурового снаряда (рис. 5-18). Анализ приведенного графика показывает, что частота вибраций колонковой трубы существенно зависит от частоты вращения бурового снаряда и практически не зависит от физико-механических свойств разбуриваемой породы. Амплитуда колебаний колонковой трубы слабо изменяется в зависимости от частоты вращения бурового снаряда и весьма существенно зависит от физико-механических свойств горной породы.

Для получения керновой пробы ненарушенной структуры (задачи инженерной геологии, структурно-поисковое бурение и т. д.) необходимо соблюдать следующие рекомендации по снижению уровня вибраций:

- при бурении применять по возможности сбалансированный соосный буровой снаряд селективной сборки;
- для дополнительного центрирования колонкового снаряда применять алмазный расширитель или твердосплавный центратор;

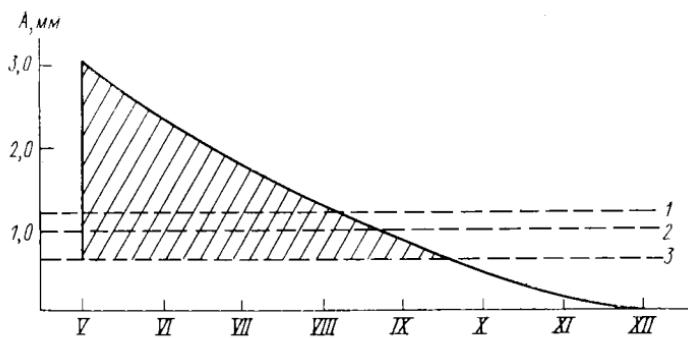


Рис. 5-17. Зависимость амплитуды колебаний колонкового снаряда от категории пород по буримости в различных комплексах горных пород.
1—3 — номинальный зазор между керном и кернорвательем в процессе бурения для коронок диаметром: 1 — 76 мм, 2 — 59 мм, 3 — 46 мм; заштрихована зона возможного вибрационного скола керна.

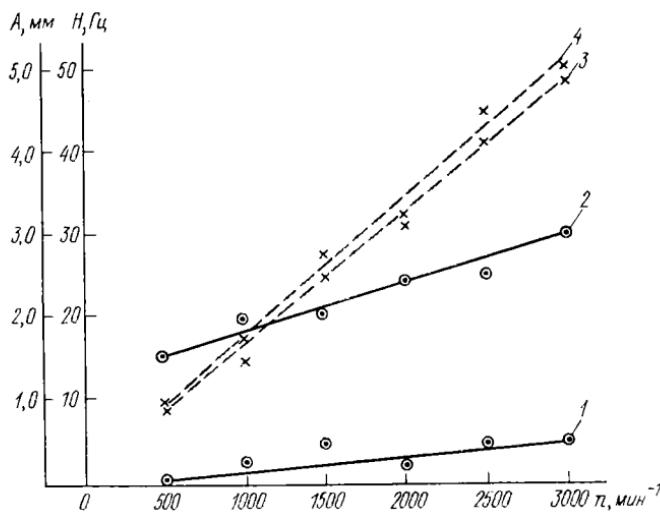


Рис. 5-18. Зависимость частоты и амплитуды колебаний колонковой трубы от частоты вращения бурового снаряда.
1—2 — амплитуда при бурении: 1 — по граниту X категории, 2 — по искусственному блоку V категории; 3—4 — частота при бурении по блокам пород по буримости: 3 — X категория, 4 — V категория.

- в обязательном порядке следует применять антивибрационные средства;
- при сборке колонкового снаряда следует тщательно проверить размеры кернорвательных колец;
- при высокооборотном бурении следует избегать работы в зоне резонансного режима;

— при бурении скважин в мягких породах в исключительных случаях можно рекомендовать переход на бурение коронками с внутренним диаметром, обеспечивающим перекрытие возможной амплитуды вибраций номинальным зазором.

В износе керна при бурении пород средней степени трещиноватости ($K_{уд} = 10 \div 30$ шт./м) можно выделить две области условий образования керна:

— область, граничащую с областью монолитных пород ($K_{уд} = 10 \div 20$ шт./м). При этом отношение длины столбика керна l_k к его диаметру d_k для различных диаметров бурения равно 1,0—3,0;

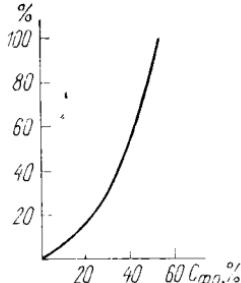
— область условий формирования керна ($K_{уд} = 20 \div 30$ шт./м), граничащую с областью сильнотрещиноватых, раздробленных пород. При этом отношение $l_k/d_k = 0,6 \div 1,5$.

При отношении $l_k/d_k > 1$ столбик керна продвигается в колонковой трубе, не меняя своей ориентации по вертикальной оси Z. При условии $l_k/d_k < 1$ столбик керна имеет возможность свободного вращения в керноприемной трубе, в том числе и вокруг горизонтальной оси. В первом случае ($l_k/d_k > 1$) процесс кернообразования аналогичен процессу формирования и сохранности керна при бурении монолитных и слаботрещиноватых пород при условии первичного отделения керна от забоя, во втором ($l_k/d_k < 1$) помимо «заклинивания прихватом» отдельных столбиков керна частицами мелкой фракции с размерами, близкими к $2K_3$, может развиваться заклинивание по типу «взаимозаклинивания» двумя или более рядом расположенным плашками керна. При этом размеры плашек керна сопоставимы между собой и самозаклинивание, как правило, развивается по схеме, изложенной ранее. Самоликвидации заклинивания в данном случае не происходит.

При бурении сильнотрещиноватых раздробленных пород керн в колонковой трубе представлен частицами различного фракционного состава по крупности, от столбиков керна размером более 30 мм до мелкой фракции керна (< 5 мм), относящейся, по существу, к крупному шламу.

Авторами проведен ряд стендовых исследований влияния фракционного состава керна на процесс кернообразования, которыми установлено, что наличие в колонковой трубе раздробленной фракции керна значительно ухудшает условия его формирования и сохранности при геологоразведочном бурении. При этом наличие в колонковой трубе столбиков керна в сочетании с фракцией керна средней крупности (5—30 мм) в объеме до 30 % от объема монолитного керна (табл. 5-14) не приводит к существенному его износу. Вероятность возникновения самозаклинивания невелика и выход керна находится в пределах кондиционного (> 70 %).

Рис. 5-19. Вероятность возникновения самозаклинивания керна в зависимости от содержания частиц средней (5—30 мм) фракции.



При наличии в колонковой трубе частиц керна средней крупности в количестве, равном объему монолитного керна, вероятность возникновения самозаклинивания существенно возрастает, достигая 100 % уже при 40—50 % содержания средней фракции. Совершенно очевидно, что в данном случае доминирующую роль играет процесс взаимозаклинивания. При этом график вероятности возникновения самозаклинивания в зависимости от процентного содержания в объеме керна частиц средней фракции имеет в общем виде характер, близкий к экспоненциальному (рис. 5-19).

При бурении скважин в сложных геологических условиях в зонах сильно перемятых дробленых пород могут встречаться отдельные интервалы скважин, представленные полностью раздробленными (крупность до 5 мм и менее) горными породами. В этих условиях при бурении одинарным колонковым снарядом получение представительной керновой пробы практически невозможно из-за неизбежных потерь структуры и массы керновой пробы. При бурении указанных зон возможны два варианта развития процесса: полное или частичное вымывание кернового материала.

Полное вымывание кернового материала обусловливается техническими и геологическими условиями, из которых наиболее существенны равномерность фракционного состава керновой пробы и расход промывочной жидкости.

Таблица 5-14

Влияние частиц керна средней (5—30 мм) фракции на износ керна I_K и механическую скорость v_M бурения по данным стендовых исследований

Содержание частиц фракции 5—30 мм, %	I_K выбуренного керна, %	I_K заложенного в керноприемную трубу керна*, %			Общий I_K , %	v_M , м/ч
		Всего	Крупной фракции >20 мм	Средней фракции 5—20 мм		
0	0	0,4	0,4	—	0,2	3,11
30	43,9	10,0	10,6	8,1	26,9	1,65
100	59,3	19,2	—	19,2	44,2	1,20

* Заложенный керн — столбики керна, помещенные в керноприемную трубу для моделирования условий износа керна в трещиноватых породах.

Фракция керновой пробы размером 5 мм и менее свободно выносится потоком промывочной жидкости через промывочные каналы алмазной коронки и переходит в буровой шлам. Полный вынос кернового материала в единичном рейсе может осуществляться только при условии, что фракционный состав керновой пробы по крупности в течение всего интервала скважины, проходимого за данный рейс, не превышает по размерам крупности 5 мм.

ИЗНОС КЕРНА В КЕРНОПРИЕМНОЙ ТРУБЕ ПРИ БУРЕНИИ С ОДИНАРНЫМ КОЛОНКОВЫМ СНАРЯДОМ

Работами ряда исследователей [13, 47 и др.] доказано, что износ керна в колонковой трубе при бурении алмазными коронками происходит в результате четырех процессов: скальвания, истирания, размывания (растворения), объемного дробления.

Скалывание как процесс износа керна имеет подчиненное значение и может развиваться только по краям открытых поверхностей (трещин) в керновой пробе. Степень износа керна при скальвании зависит, кроме того, от крупности фракций скола. Как установлено практикой, вынос и потеря кернового материала происходят только при крупности фракций кернового материала до 5 мм. В остальных случаях износ керна скальванием приводит только к нарушению структурных характеристик керна, без потерь его массы и к изменению соотношения содержаний полезного компонента в рудной керновой пробе.

Объемное дробление как физический процесс играет значительную роль в износе керна, вызывая ощутимые потери массы керновой пробы и приводя к существенному изменению структурных характеристик горной породы. Объемное дробление вызывается в основном «эффектом бесшаровой мельницы». Керновый материал, поступивший в керноприемную трубу и имеющий первичное естественное деление трещинами на отдельные блоки (плашки), под воздействием вибраций бурового снаряда и врачающихся его частей при одновременном воздействии промывочной жидкости начинает перемещаться в пределах керноприемной трубы. Интенсивное перемещение вызывает существенный рост взаимных соударений плашек и столбиков керна и, как следствие, взаимное их дробление. При этом образуются фракции дробления различной крупности: от целого столбика керна до фракции размерами <5 мм. Крупность фракций дробления определяется динамической прочностью горных пород, продолжительностью процесса дробления, первичной дезинтеграцией пород. Количество мелкой фракции, которая может быть вынесена из керноприемной трубы, обратно пропорционально динамической прочности пород и прямо пропорционально продолжительности процесса и степени первичной дезин-

теграции пород. В связи с этим объемное дробление как фактор износа керна играет доминирующую роль при бурении мягких пород (аргиллит, алевролит) и имеет подчиненное значение при бурении крепких монолитных пород.

Истирание горной породы является еще одним важным физическим процессом износа керна. В практике геологоразведочного бурения процесс истирания горных пород в чистом виде практически не встречается. В реальных условиях процесс истирания совмещается с раздавливанием и перетиранием частиц мелкой фракции кернового материала, поступающего в зазоры между трущимися поверхностями отдельных блоков керна. При истирании наиболее интенсивно происходит процесс измельчения кернового материала до фракций размером <5 мм, причем доля этой фракции в общем объеме разрушенного при истирании материала может составлять почти 100 %, что приводит к практическому полному выносу и потере разрушенного кернового материала. Основной износ истиранием испытывает отделенный от забоя и заклинивший в колонковой трубе керн. В этом случае развиваются максимальные прижимающие усилия и скорости истирания.

Растворение и размывание керновой пробы происходит только в специфических условиях при бурении растворяющихся (каменные соли) и размывающихся (глины, гипс, глинистые сланцы и т. д.) пород. Эти процессы получают наибольшее развитие при бурении мягких пород, в которых алмазный способ бурения имеет ограниченное применение. В связи с этим износ керновых проб размыванием и растворением при алмазном способе бурения имеет подчиненное значение.

Определение усилий для разрушения керна истиранием при его самозаклинивании в керноприемной трубе

Собственно износ кернового материала в процессе истирания определяется двумя основными факторами: усилием самозаклинивания и временем существования самозаклинивания. Усилие самозаклинивания характеризует усилие, которое необходимо приложить к заклиниенному участку керна для обеспечения его перемещения вдоль образующей колонковой трубы. При этом значение усилия самозаклинивания $P_{закл}$ находится в интервале $0 \ll P_{закл} \ll P_{ос}$, где $P_{ос}$ — осевая нагрузка на породоразрушающий инструмент.

Кроме того, усилие самозаклинивания не может превышать некоторого значения, определяемого пределом прочности конкретной горной породы на сжатие $P_{закл} < Fa[\sigma_{сж}]$, где $[\sigma_{сж}]$ — предел прочности горной породы на сжатие; a — коэффициент, учитывающий переменный характер нагрузок; F — площадь контакта самозаклинивания с керноприемной трубой.

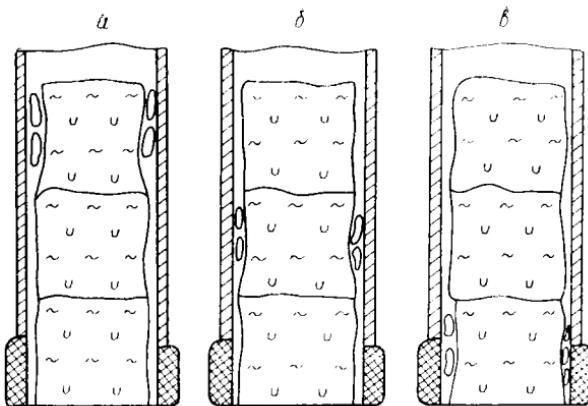


Рис. 5-20. Заклинивание керна в верхней (а), в средней (б) и в нижней (в) частях керноприемной трубы.

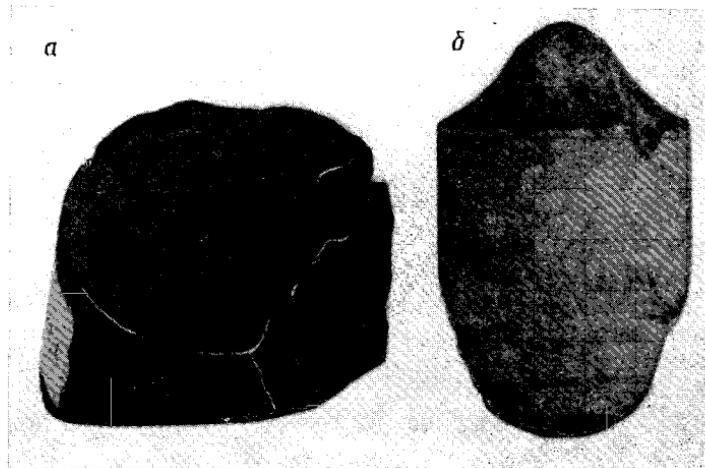


Рис. 5-21. Общий вид площадок износа керна при самозаклинивании в алевролитах Центрального Донбасса (а) и в железистых роговиках Кривбасса (б).

Время существования самозаклинивания определяется скоростью линейного износа керна $v_{к}^H$, механической скоростью бурения v_m , местом самозаклинивания в керноприемной трубе (рис. 5-20), моментом возникновения самозаклинивания в цикле рейсовой углубки. Процесс самозаклинивания может быть прекращен вследствие собственной вибрации бурового снаряда, при резком изменении параметров режима бурения, при полном

разрушении керна от забоя до места возникновения самозаклинивания и освобождении контакта заклинивания.

На взгляд авторов, наиболее приемлема классификация случаев самозаклинивания по усилию заклинивания, что визуально определяется на керне по площадкам износа. Выделяются три степени заклинивания керна: незначительная, средняя и максимальная. При незначительной степени на керне имеются лишь следы износа, при средней — размер площадки износа составляет половину диаметра керна, а при максимальной — полный диаметр. Виды площадок износа при бурении в мягких породах осадочного комплекса (Центральный Донбасс) и в крепких породах метаморфического комплекса (Криворожский железорудный бассейн) показаны на рис. 5-21.

При незначительной и средней степени заклинивания происходит частичный износ в результате истирания на контакте «торванный столбик керна — забой скважины». При этом происходит только частичная приработка поверхностей керна, визуально определяемая по площадкам притирания на плоскостях соприкосновения.

При полном заклинивании керна с усилиями, сопоставимыми с осевой нагрузкой на породоразрушающий инструмент P_{oc} , происходит интенсивный износ керна объемным дроблением и истиранием со скоростями износа, сопоставимыми с механической скоростью бурения, особенно в мягких породах V—VII категорий по буримости.

Сам процесс самозаклинивания керна в колонковой трубе может быть представлен следующими фазами:

— создание предпосылок подклинивания керна, характеризующихся попаданием частицы керна в керновый зазор;

— процесс нарастания усилия подклинивания от нуля до максимального значения, происходящий в течение некоторого интервала времени, длительность которого определяется механической скоростью бурения (скоростью смещения колонковой трубы).

При этом усилие самозаклинивания может иметь три значения:

$$[\tau_{ck}] F_k < P_{max} < P_{oc} f;$$

$$[\tau_{ck}] F_k < P_{max} = P_{oc} f;$$

$$[\tau_{ck}] F_k > P_{max} = P_{oc},$$

где $[\tau_{ck}]$ — предел прочности на скальвание горной породы; f — коэффициент трения системы «порода — керноприемная труба»; F_k — площадь поперечного сечения керна.

В первом случае нарастание усилия самозаклинивания прекращается при достижении предельного усилия разрушения породы и износ керна идет одновременно с поступлением керно-

Рис. 5.22. Зависимость механической скорости бурения в мягких трещиноватых (*а*), средней крепости (*б*), крепких и весьма крепких (*в*) породах от усилия самозаклинивания и прочности на скальвание.

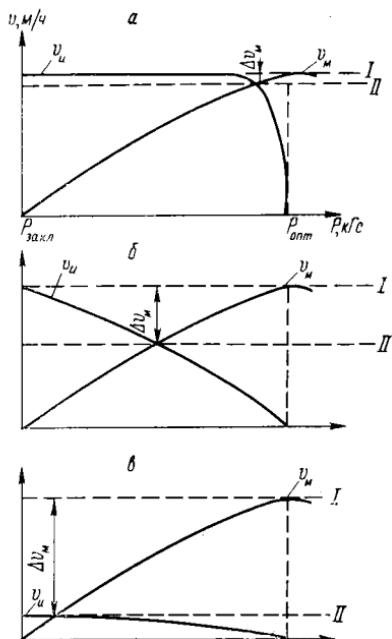
Уровни v_m : I — номинальный, II — установившийся.

вой пробы в керноприемную трубу. При малых значениях $[\tau_{ck}]$ зачастую даже не наблюдается снижения механической скорости бурения. Во втором случае идет достаточно интенсивный износ керна, сопровождаемый существенным снижением механической скорости бурения. В третьем случае износ керна неизмерим, может практически отсутствовать, механическая скорость бурения снижается до скорости износа керна и практически приближается к нулю.

Общий вид графиков зависимости механической скорости бурения в породах различной прочности от усилия самозаклинивания керна показан на рис. 5-22. Усилие самозаклинивания, необходимое для разрушения керновой пробы, определяется величиной предельных напряжений породы на скальвание истирание $[\tau_{ck}]$ и степенью дробления породы, т. е. площадью по-перечного сечения одиночного куска керна F . Разрушение породы происходит при условии $P_{закл}/F \geq [\tau_{ck}]$. Из полученного выражения $P_{закл}$ можно выразить следующим неравенством:

$$P_{закл} \geq \pi d_k^2 [\tau_{ck}] / 4. \quad (5-56)$$

В мягких трещиноватых породах ($[\tau_{ck}] < 3,0 \div 4,0$ МПа) усилие самозаклинивания сопоставимо со значением $0,1 P_{oc}$ (рис. 5-22, *а*). Производственными и стендовыми исследованиями установлено, что график зависимости механической скорости от осевой нагрузки на инструмент, в пределах некоторой оптимальной осевой нагрузки, имеет характер прямой пропорциональной зависимости с выполнением кривой в области оптимальных значений осевой нагрузки. Изменение осевого усилия на $0,1 P_{oc}$ приводит к изменению v_m на значение $\Delta v_m < 0,1 v_m$, что несущественно. Таким образом, при данных условиях изменение механической скорости может оставаться неотмеченным, а скорость износа керна приближается к v_m .



В породах средней крепости ($[\tau_{ck}] \approx 8,0 \div 10,0$ МПа) усилие самозаклинивания сопоставимо со значением P_{oc} (рис. 5-22, б). Скорость разрушения керновой пробы при таких условиях может достигать значений номинальной механической скорости бурения при оптимальной осевой нагрузке. В этом случае значение скорости продвижения керноприемной трубы (установившегося уровня v_m) определяется точкой пересечения графиков $v_m = f(P)$ и $v_i = f(P)$. При данных условиях изменение механической скорости может достигать значений $\Delta v_m \approx 0,5 v_m$, что четко отмечается контрольно-измерительной аппаратурой станка и требует принятия незамедлительных мер по ликвидации самозаклинивания.

В крепких и весьма крепких породах ($[\tau_{ck}] \approx 20,0 \div 25,0$ МПа) усилие самозаклинивания может достигать максимального значения, равного P_{oc} (рис. 5-22, в), но объемного разрушения породы практически не происходит. Получает развитие процесс истирания породы сплошным забоем, при этом скорость износа керна при бурении крепких и весьма крепких пород существенно меньше номинальной механической скорости бурения. Контрольно-измерительная аппаратура станка отмечает снижение механической скорости практически до нуля, что требует принятия экстренных мер по ликвидации самозаклинивания вплоть до подъема бурового снаряда на поверхность. Процесс бурения прекращается ($v_m = 0$) и соответственно прекращается износ керна.

Во всех перечисленных случаях непременным условием неискаженного течения процесса износа кернового материала является достаточное количество и скорость потока промывочной жидкости, обеспечивающей полный и своевременный вынос разрушенного материала. В целом при самозаклинивании керна в керноприемной трубе износ кернового материала зависит от времени существования самозаклинивания, которое может быть определено соотношением потерь кернового материала и скорости износа керна.

Следует учитывать, что в течение рейса может иметь место несколько самозаклиниваний, при этом средняя продолжительность единичного самозаклинивания t_3^i будет равна

$$t_3^i = (S - l_k) / (nv_i), \quad (5-57)$$

где n — число самозаклиниваний в течение рейса; S — углубление за рейс; l_k — выход керна; v_i — скорость износа керна.

Выражение $(S - l_k)$, характеризующее потери кернового материала в течение рейса, можно обозначить через I_k — износ керна в течение рейса, а скорость износа v_i при полном самозаклинивании соответствует установленной при самозаклинивании механической скорости бурения v_m .

Рис. 5-23. Общий вид модели керна в колонковой трубе.

1 — колонковый снаряд; 2 — плашки керна; 3 — местоположение заклинивания керна; 4 — алмазная коронка.

Тогда

$$t_3^i = I_k / (nv_m), \quad (5-58)$$

а общее время существования самозаклинивания

$$t_3 = \sum_1^n I_k / (nv_m) = I_k / v_m, \quad (5-59)$$

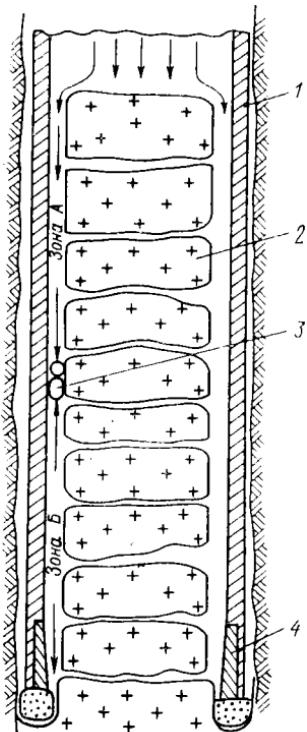
откуда

$$I_k = v_m t_3. \quad (5-60)$$

Из указанного выражения следует, что износ керна прямо пропорционален механической скорости бурения и продолжительности самозаклинивания, причем продолжительность самозаклинивания и износ кернового материала зависят от места возникновения самозаклинивания в керноприемной трубе. Исследования характера разрушения кернового материала и расположения зоны износа керна в керноприемной трубе проведены в ВИТР на специальном высокооборотном стенде ВИС-3000 М [47]. В ходе эксперимента искусственно моделировалось явление самозаклинивания керна в колонковом снаряде. Колонковая труба заполнялась плашками и кусочками керна числом от 1 до n . Общий вид модели керна показан на рис. 5-23.

В ходе эксперимента заклинивался кусок керна под номером i . При этом в керне, находящемся в колонковой трубе, можно выделить две самостоятельные зоны. Зона А расположена выше заклинившей плашки керна, в ней плашки керна испытывают воздействие частоты вращения снаряда и промывочной жидкости, т. е. здесь моделируется нормальный неосложненный самозаклиниванием процесс бурения. Зона Б расположена ниже заклинившей плашки керна, в ней керн подвергается суммарному воздействию вращения бурового снаряда, промывочной жидкости и осевой нагрузки на инструмент, т. е. моделируется процесс бурения при наличии явления самозаклинивания керна в колонковой трубе.

В качестве моделей использовались три модификации кернового материала: однородные крепкие породы (гранит), переме-



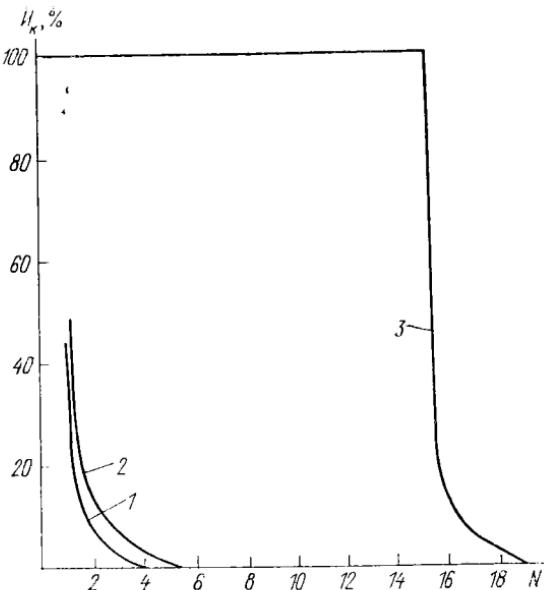


Рис. 5-24. Зависимость объемного износа отдельных кусков керна I_k от их местоположения в колонковом снаряде по отношению к забою скважины для различных значений удельной кусковатости керна при $P = 200$ даН.

$K_{уд}$, шт./м: 1 — 10, 2 — 20, 3 — 40.

жающиеся по крепости породы (гранит с цементным камнем), бетонный камень. Исследования износа керна проводились для I, II, III группы горных пород по классификации их по трещиноватости при оценке трудности отбора керна [45] с удельной кусковатостью керна соответственно 10, 20, 40 шт./м. При этом установлено, что независимо от места возникновения самозаклинивания наибольшему износу при бурении однородных пород подвергается кусок керна на контакте с неподвижной поверхностью забоя или неотделенного столбика керна. Независимо от применяемых параметров режима бурения, числа и размеров плашек керна первой начинает разрушаться 1-я плашка, контактирующая с неподвижным пеньком керна на забое скважины. Затем износу подвергаются последующие плашки керна вплоть до заклинившей i -й плашки. Характер зависимости объемного износа отдельных кусков керна от их местоположения в колонковом снаряде по отношению к забою скважины показан на рис. 5-24.

Разрушение плашек керна, контактирующих с забоем, и сохранность в первоначальном виде остальных свидетельствуют о том, что столбик керна выполняет роль многодисковой, фрикционной муфты, передающей вращательный момент от i -й до 1-й плашки. Передача движения между ними происходит практически без взаимного проскальзывания. Отсюда следует, что весь столбик заклиниенного керна независимо от числа плашек вращается вместе с колонковой трубой как единое целое. Взаимное

проскальзывание плашек и соответственно взаимный износ их наблюдается только на контакте с неподвижным забоем и в первых от забоя плашках керна.

Износ керна при взаимозаклинивании двух рядом расположенных столбиков керна

Существенное значение для определения условий развития конкретного вида износа имеет угол ориентирования площадки отделения керна по отношению к оси скважины.

Процесс разрушения керна при расположении площадки скола под углом к оси скважины можно представить в виде общих случаев, схематически изображенных на рис. 5-25. При угле наклона трещины больше критического поступательное перемещение керна в колонковой трубе полностью прекращается. В этом случае керн испытывает воздействие тех же сил, что и при заклинивании частицей, соизмеримой с размером кернового зазора: крутящего момента, передаваемого через верхний столбик, и изгибающего момента от горизонтальной составляющей усилия заклинивания. Дальнейшее развитие процесса разрушения керна зависит от того, будет ли отделен от забоя нижний заклиниенный столбик. Если усилий, действующих на керн, недостаточно для отделения нижнего столбика от забоя, то под действием крутящего момента происходит разрушение клиновой зоны как ослабленного сечения (рис. 5-25, в). Зона представляет собой цилиндр с высотой $h = d_k \operatorname{tg} \alpha$, где d_k — диаметр керна, α — угол наклона трещины к плоскости поперечного сечения керна. Разрушение носит характер дробления и влечет за собой потерю кернового материала, объем которого определяется по формуле

$$V = (\pi d_k^3 / 4) \operatorname{tg} \alpha. \quad (5-61)$$

В общем случае прочность керна при прочих равных условиях определяется диаметром керна и расстоянием от забоя до точки приложения сил, которое в данном случае соответствует длине неотделенного от забоя столбика керна.

Если моменты кручения и изгиба достаточны, то нижний столбик отделяется от забоя по схеме вторичного отделения (рис. 5-25, г). При этом клиновой контакт не разрушается и поступательное перемещение керна по-прежнему исключено. Более сложным для определения скорости разрушения керна и продолжительности заклинивания является случай частичного заклинивания керна, что может иметь место при докритическом угле наклона трещины. Поступательное перемещение керна в этом случае не прекращается, но керн испытывает действие нагрузок, которые определяются усилием самозаклинивания, зависящим в свою очередь от угла наклона трещины, т. е.

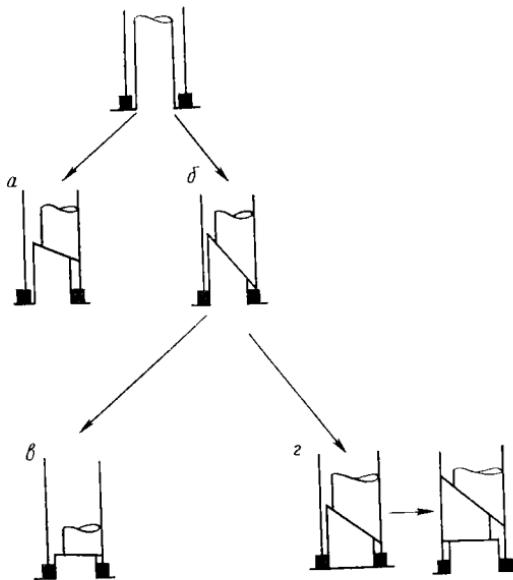


Рис. 5-25. Основные виды разрушения керна при отделении столбиков под углом к оси скважины.

a — докритический угол (самозаклинивание с незначительным усилием); *b* — критический угол: *b* — прекращение поступательного перемещения керна, *c* — разрушение клинового контакта и ликвидация заклинивания, *d* — отделение столбика от забоя и разрывание заклинивания до $v_{из} = v_m$.

$P_{закл}=f(a)$. При этом при возникновении микросамозаклиниваний малыми усилиями происходит незначительный износ кернового материала в основном путем сколов площадок контакта за счет вибрационных нагрузок и незначительного развития процесса истирания. Потери кернового материала при низком уровне вибраций остаются около 10—15 %.

Необходимо учитывать, что износ при повышенном уровне вибрации возникает при условии, что усилие единичного удара больше предела прочности на скальвание [$\tau_{ск}$] конкретной горной породы. Наиболее полно это условие соблюдается при дроблении мягких пород или зоны контакта мягких и твердых пород. Вследствие этого при отделении керна по контакту при докритических углах ориентирования площадки отделения, как правило, имеет место избирательный износ кернового материала, что приводит к потере представительности керновой пробы по содержанию.

При отделении керна от забоя при бурении в монолитных и слаботрешиноватых породах общее число плоскостей отделения незначительно и износ даже при высоком уровне вибраций не выходит за пределы 10—15 %, что при отделении керна по мо-

нолиту и равномерном износе позволяет отнести керновую пробу к представительной по массе и по содержанию полезного компонента. Исключение составляют случаи износа керна мягких и средней крепости пород при весьма высоком уровне вибраций, когда энергия единичных соударений существенно превышает $[t_{ск}]$ конкретной горной породы. В этом случае число поверхностей скола увеличивается по зависимости, близкой к геометрической прогрессии, что при достаточно длительном времени существования процесса (время чистого бурения в единичном рейсе) может привести к катастрофическому износу кернового материала вплоть до полной потери представительности керновой пробы и, соответственно, к браку в опробовании пробуренного интервала скважины.

Износ керна при наличии в керновой пробе фракций смешанного по крупности состава

Авторами на высокооборотном исследовательском стенде проведен цикл исследований по износу керновых проб при моделировании различных составов кернового материала по крупности. При этом установлено, что при бурении коронками диаметром 46 мм наличие в колонковой трубе мелкой фракции (<5 мм) в количестве до 20 % от объема заложенных столбиков керна практически не сказывается на сохранности керна (табл. 5-15). Явлений самозаклинивания не отмечено, выход керна выше 80 %, мелкая фракция, не расклинивая монолитные столбики керна, под воздействием промывочной жидкости с расходом 14 дм³/мин полностью выносится из колонковой трубы.

Однако если количество мелкой фракции составляет более 25 % от объема керна, начинает развиваться явление самозаклинивания, резко возрастает износ керна и наступает перекрытие кернового зазора, прекращается подача промывочной жидкости и процесс бурения становится невозможным. На основании данных, полученных в результате экспериментальных

Таблица 5-15

Влияние частиц мелкой (<5 мм) фракции на износ керна I_K и механическую скорость алмазного бурения v_m ($d_{кор} = 46$ мм)

Содержание мелкой фракции, %	I_K выбуранного керна, %	I_K заложенного керна, %			Общий I_K , %	v_m , м/ч
		Всего	Крупной фракции	Мелкой фракции		
0—10	3,3	5,4	0	100	4,3	1,92
10—20	17,3	15,3	2,9	100	16,4	1,90
20—30	55,1	20,1	4,6	34,9	39,0	1,32

Таблица 5-16

**Влияние частиц мелкой (<5 мм) фракции на возникновение
самозаклинивания керна**

Количество заложенной мелкой фракции		Износ керна, %	
Масса, г	Относительно общего количества, %	Всего	Мелкой фракции
20	3,3	1,6	100
40	6,7	8,3	100
60	10,0	4,5	100
80	13,3	7,8	100
100	16,7	7,8	100
120	20,1	14,9	100
140	23,3	31,7	84,0
160	26,7	96,9	69,7

исследований (табл. 5-16), можно сделать вывод, что износ керна и вероятность возникновения его самозаклинивания прямо пропорционально зависят от количества мелкой фракции, заложенной в колонковой трубе, и обратно пропорционально от зазора между колонковой трубой и керном. Результаты стендовых исследований показали, что при содержании мелкой фракции в исходном интервале конкретной горной породы более 35—40 % необходимо применение специальных технических средств и технологических приемов для обеспечения кондиционного выхода керна.

При бурении в породах с повышенным содержанием мелкой фракции для обеспечения кондиционного выхода керна могут быть рекомендованы следующие специальные технологические приемы:

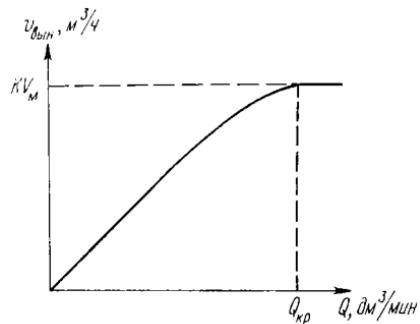
- применение алмазных коронок с увеличенной толщиной матрицы (типа 14АЗ) в целях увеличения зазора между керном и колонковой трубой, что позволяет увеличить максимально допустимый предел содержания мелкой фракции в общем объеме керна;

- замена прямой промывки на обратную, что позволяет часть мелкой фракции держать во взвешенном состоянии и тем самым уменьшить фактическое содержание мелкой фракции в призабойной зоне.

**Износ керна вымыванием
при крупности частиц керна менее 5 мм**

Частицы керна крупностью <5 мм свободно выносятся из керноприемной трубы потоком промывочной жидкости. Полный вынос фракции керна <5 мм обеспечивается при определенном критическом расходе промывочной жидкости $Q_{кр}$ (рис. 5-26),

Рис. 5-26. Зависимость скорости выноса кернового материала от количества промывочной жидкости.



обеспечивающем скорость выноса мелкого кернового материала $v_{\text{вын}}$, равной скорости его образования $v_{\text{обр}}$. В целом скорость выноса кернового материала адекватна скорости его износа и соответственно может быть также сопоставлена с механической скоростью бурения v_m . Скорость образования керновой пробы определяется механической скоростью бурения и связана с ней прямой зависимостью:

$$v_{\text{обр}} = v_m \pi d_k^2 / 4, \quad (5-62)$$

где d_k — диаметр керна.

Таким образом, полный вынос керна обеспечивается при

$$v_{\text{вын}} \geq v_m \pi d_k^2 / 4 \geq K v_m, \quad (5-63)$$

где K — коэффициент, учитывающий площадь поперечного сечения керновой пробы.

При бурении указанных зон одинарным колонковым снарядом с расходом промывочной жидкости ниже критического или при наличии в конце рейса в кернорвателе плашек керна, в достаточной степени перекрывающих сечение кернорвательного кольца, процесс кернообразования переходит в стадию частичного вымывания керновой пробы.

Частичное вымывание характеризуется неполным выносом кернового материала из керноприемной трубы и соответственно накоплением указанного материала в нижней ее части. При этом процессе $v_{\text{вын}} < K v_m$. Скорость накопления керновой пробы определяется разностью скоростей образования и выноса кернового материала. При достижении предельного объема мелкой фракции развиваются явления самозаклинивания уплотнением вплоть до прекращения углубки скважины.

Виды износа керна в колонковой трубе при бурении

Для представительности кернового материала и полноты геологической информации существенно важно, какой качественный характер имеет износ керна в каждом конкретном случае.

Таблица 5-17

**Допустимые потери кернового материала
при равномерном его износе**

Типы месторождений	Степень изменчивости полезных компонентов	Коэффициент вариации содержания полезного ископаемого $v, \%$	Допустимые потери керна, %
Гидротермальные и контактовые (медь, олово, молибден и т. д.)	Весьма неравномерная и неравномерная	40—150	15—20
Магматические (медноникелевые и т. д.); метаморфические (железные руды и т. д.) и осадочные (угольные, стройматериалы и т. д.)	Равномерная и весьма равномерная	40	30

В общем виде износ истиранием и объемным дроблением может быть равномерным (равномерно изнашиваются оба компонента взаимодействующей пары) или избирательным (износ одного компонента интенсивнее другого).

Если соприкасающиеся поверхности при заклинивании или контакты соприкасающихся пар при объемном дроблении представлены однородными компонентами, износ кернового материала происходит пропорционально и равномерно. При этом пропорционально изнашиваются как вмещающая горная порода, так и включенные в нее рудные минералы. В этом случае даже при повышенном износе в пределах 20—30 % от линейных размеров керна проба сохраняет представительность по содержанию полезного компонента.

Таблица 5-18

**Объемный износ керна перемежающихся пород
(по данным стендовых исследований)**

Частота вращения снаряда, мин ⁻¹	Расход промывочной жидкости, дм ³ /мин	Объемный износ керна, %		Число кусков керна*
		общий	слабой фракции	
500	15	11,5	26,5	10/5*
	45	12,3	27,7	10/5
1500	15	13,5	27,9	10/5
	45	23,4	49,3	10/5
500	15	7,7	18,5	18/9
	45	14,7	31,3	18/9
1500	15	17,8	40,7	18/9
	45	25,9	52,0	18/9

* В числителе общее число кусков керна в опыте, в знаменателе число кусков цементного камня.

Допустимые потери керна при равномерном износе зависят от генетического типа месторождений полезных ископаемых и от степени изменчивости полезных компонентов (табл. 5-17). Таким образом, в условиях равномерного износа керна при допустимых потерях представительность керновой пробы удовлетворяет требованиям достоверности геологической информации.

Избирательный износ керновых проб является довольно распространенным. При бурении разнородных переслаивающихся пород отделение плашек керна под воздействием внешних причин (в монолитных породах) или разделение кернового материала по естественным трещинам (в трещиноватых породах) происходит, как правило, по контактам разнородных прослоев пород, прожилкам и ослабленным зонам. В этом случае при заклинивании и объемном дроблении в первую очередь изнашивается более слабая фракция. Работами ВИТР [47] по исследованию износа керна перемежающихся по твердости пород (табл. 5-18) показано, что при самозаклинивании керна происходит интенсивное избирательное истирание менее прочных фракций керна. Общий износ керна происходит за счет слабой фракции вплоть до полного ее разрушения, после чего начинает разрушаться крепкая фракция.

При бурении одинарными колонковыми снарядами в породах, перемежающихся по твердости, существенно возрастает роль расхода промывочной жидкости. С увеличением расхода промывочной жидкости в три раза износ слабой фракции керна увеличивается в 1,4—1,6 раза.

Широкое распространение избирательного истирания подтверждается как практикой геологоразведочных работ, так и работами целого ряда исследователей [3, 4, 48 и др.]. Процесс избирательного истирания оказывает весьма существенное влияние на достоверность опробования скважин и требует разработки специальных технологических методов и технических средств для снижения воздействия указанного явления на представительность керновых проб.

ОСОБЕННОСТИ ИЗНОСА КЕРНА В КЕРНОПРИЕМНОЙ ТРУБЕ ПРИ БУРЕНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕЦИАЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ С ПРЯМОЙ ПРОМЫВКОЙ

Специальные технические средства для отбора керна предназначены для повышения выхода керна в сложных горно-геологических условиях при бурении комплексов горных пород, в которых при использовании в качестве керноприемника одинарных колонковых труб кондиционный выход керна не обес-

печивается. Специальные технические средства по своим конструктивным параметрам подразделяются на несколько больших групп.

В настоящем разделе рассматриваются специальные технические средства с прямой промывкой и с невращающейся внутренней керноприемной трубой, защищающие керн от непосредственного воздействия струй промывочной жидкости по всей его длине; керн может или вообще не контактировать с промывочной жидкостью (двойные трубы ДТА-2, ТДН-4 и др.), или омываться ею на небольшом расстоянии от забоя (двойные колонковые трубы ТДН-1, ТДН-2, ТДН-ССК и ряд других), благодаря чему отсутствует или существенно снижается роль промывочной жидкости как разрушающего керновый материал фактора. Кроме того, практически полностью исключается роль промывочной жидкости как транспортного агента. Керновый материал, раздробленный при износе до крупности шламовых фракций, поступает к промывочным окнам породоразрушающего инструмента только под влиянием гравитационных сил. Указанный процесс происходит существенно менее интенсивно, чем перенос шламовых частиц потоком промывочного агента. Так как керноприемная труба в процессе бурения не вращается, керн может испытывать напряжения сжатия, изгиба, среза. Напряжения скручивания на керн не влияют; вибрационные усилия также в значительной степени уменьшены за счет подвески подшипникового узла, и вибрационное скальвание кернового материала весьма незначительно.

В целом определяемая указанными ограничениями группа специальных технических средств обладает рядом существенных преимуществ по обеспечению защиты керна от разрушающих факторов по сравнению с одинарным колонковым снарядом. Тем не менее основные процессы износа керна в керноприемной трубе адекватны схеме износа кернового материала в одинарном колонковом снаряде, хотя, безусловно, вероятность возникновения предпосылок износа керна при бурении указанными специальными техническими средствами существенно ниже и сами усилия износа ниже усилий, развивающихся при бурении одинарным колонковым снарядом.

К специфическим особенностям износа керна в керноприемной трубе при бурении специальными техническими средствами с неподвижной внутренней трубой и с изоляцией кернового материала от потока промывочной жидкости можно отнести следующие:

— существенно изменяется соотношение видов износа керна, превалирующее значение приобретает процесс раздавливания керновой пробы при одноосном сжатии, объемное дробление и вибрационное скальвание имеют подчиненное значение, а истирание в его классической форме отсутствует;

— при бурении по сильнотрещиноватым, раздробленным породам развитие заклинивания уплотнением определяется только весом кернового материала, значением коэффициента трения пары «металл — порода» и углом перемещения массы частиц, что позволяет увеличить углубку за рейс;

— при бурении специальными техническими средствами с невращающейся внутренней керноприемной трубой отсутствует явление износа керна по диаметру, незначителен «бороздовый» износ керна;

— при использовании указанных технических средств существенное значение приобретает продолжительность самозаклинивания и соответственно продолжительность процесса износа керна, так как при бурении этими средствами самоликвидация заклинивания практически невозможна. Износ керна продолжается от момента заклинивания до окончания рейса.

При бурении специальными техническими средствами с невращающейся керноприемной трубой и изоляцией кернового материала от воздействия прямой струи промывочного агента по зонам сильнотрещиноватых раздробленных пород углубка за рейс определяется общим весом керновой пробы, находящейся в керноприемной трубе, и коэффициентом трения пары «металл — порода». Указанная зависимость может быть выражена математически. При этом необходимо принять следующие ограничения:

— керновая проба представлена фракцией равномерного состава с крупностью около 5 мм;

— вес керновой пробы распределяется равномерно как на забой скважины, так и на стенки керноприемной трубы;

— осевая нагрузка на породоразрушающий инструмент передается через подшипниковый узел на керноприемную трубу, которая вдавливается в раздробленную породу перебуриваемого интервала с усилием P_{oc} ;

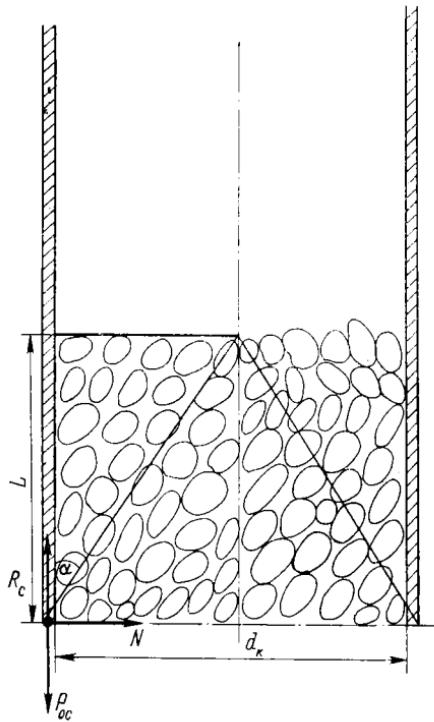
— при вдавливании керноприемной трубы частицы породы, непосредственно соприкасающиеся с керноприемной трубой за счет сил трения, продвигаются вместе с ней и в виде клинового контакта внедряются в нижележащие слои породы.

Характер распределения нагрузок в указанном случае приводится на рис. 5-27.

При указанных допущениях сила сопротивления внедрению керноприемной трубы R_c определяется объемом кернового материала, уже вошедшего в керноприемную трубу, и его весом. Тогда продвижение кернового материала внутри керноприемной трубы обеспечивается при условии соблюдения неравенства $P_{oc} > R_c$.

В граничных условиях при $R_c = P_{oc}$ продвижение керновой пробы останавливается и в зависимости от прочности горной породы на одноосное сжатие процесс дальнейшего кернообразо-

Рис. 5-27. Распределение нагрузок при внедрении неподвижной керноприемной трубы в раздробленную горную породу.



рода может быть определена из следующего выражения:

$$R_c = K (\pi d^2 / 4) L \gamma \operatorname{ctg} \alpha = K (\pi d / 2) \gamma L^2, \quad (5-64)$$

где d — внутренний диаметр керноприемной трубы; γ — удельный вес пород керновой пробы; L — высота столбика керновой пробы в керноприемной трубе; K — коэффициент наполнения для фракции крупностью 5 мм ($K=0,8 \div 0,9$); α — угол внутреннего откоса керновой пробы.

Но высота столбика керновой пробы L в керноприемной трубе в целом определяет оптимальную углубку за рейс $L_p^{\text{опт}}$, при которой не происходит разрушения кернового материала. Тогда

$$L_p^{\text{опт}} = \sqrt{2P_{\text{oc}}/(K\pi d \gamma)}. \quad (5-65)$$

Данное выражение описывает процесс внедрения штампа в среду, состоящую из частиц горной породы, перемещающихся друг относительно друга без взаимного сцепления. Для реальных расчетов коэффициент сцепления λ может быть принят равным 0,10—0,3 и формула для определения $L_p^{\text{опт}}$ примет вид

$$L_p^{\text{опт}} = 0,2 \sqrt{2P_{\text{oc}}/(K\pi d \gamma)}. \quad (5-66)$$

вания или полностью прекращается из-за зависания колонкового снаряда на подклиниченной поверхности керновой пробы, или начинается процесс раздавливания и перетирания керновой пробы на контакте «керн — забой скважины».

Сила сопротивления внедрению керноприемной трубы определяется весом цилиндра породы с внутренним конусом высотой L , основанием которого является площадь сечения керноприемной трубы. Исходя из этого, сила сопротивления внедрению керноприемной трубы в раздробленную до крупности 5 мм горную по-

Рис. 5-28. Номограмма для расчета значений $L_p^{\text{опт}}$ для раздробленных пород фракции около 5 мм.

Расчетные значения предельных углубок за рейс $L_p^{\text{опт}}$ приводятся в табл. 5-19.

Они позволяют построить номограмму расчетных значений $L_p^{\text{опт}}$ в зависимости от диаметра бурения и осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент (рис. 5-28).

Выбранные по номограмме углубки за рейс показывают предельные значения, возможные без разрушений кернового материала, так как при достижении указанных значений сила сопротивления горной породы внедрению невращающейся керноприемной трубы R_c достигает значений осевой нагрузки и дальнейшая углубка или полностью прекращается, или может идти за счет разрушения кернового материала.

Частицы раздробленной породы, составляющие керновую пробу, располагаются в керноприемной трубе хаотично, подчиняясь законам плотнейшей упаковки. Под воздействием распределенной осевой нагрузки большинство частиц испытывает касательные напряжения и, таким образом, работают на сдвиг.

При бурении по дробленым зонам мягких пород (аргиллиты, алевролиты, слабые песчаники и т. д.) возможные усилия,

Таблица 5-19

Предельные углубки за рейс, м, при различных диаметрах бурения

Осевая нагрузка на породоразрушающий инструмент, даN	Диаметр бурения, мм, двойной трубой					
	46		59		76	
	тдн-ут	тдн-сск	тдн-ут	тдн-сск	тдн-ут	тдн-сск
300	0,34	0,39	—	—	—	—
600	0,49	0,55	0,43	0,49	—	—
900	0,60	0,67	0,53	0,60	0,44	0,49
1200	0,69	0,78	0,61	0,69	0,51	0,56
1500	—	—	0,69	0,77	0,57	0,63
1800	—	—	—	—	0,63	0,69
2100	—	—	—	—	0,68	0,75

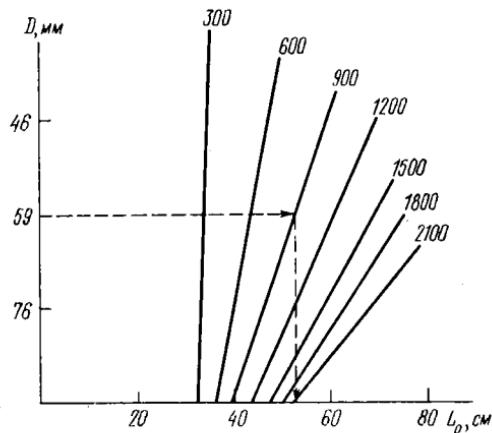


Таблица 5-20

Допустимые осевые нагрузки на породоразрушающий инструмент при бурении с использованием специальных технических средств в зонах сильнотрещиноватых раздробленных пород

Параметр бурения	Диаметр бурения, мм, двойной трубой					
	46		59		76	
	тдн-ут	тдн-сск	тдн-ут	тдн-сск	тдн-ут	тдн-сск
Максимально допустимая осевая нагрузка на инструмент, дан	600	400	1200	900	2100	1500

воздействующие на дробленый материал керновой пробы, превышают допустимые нагрузки на сдвиг, что может привести к ее разрушению. Возможные усилия обратно пропорциональны диаметру бурения. В соответствии с этим при бурении коронками диаметром 46 мм в процесс разрушения могут вовлекаться породы даже средней крепости (плотные известняки, мелкозернистые граниты, андезиты и т. д.). Предельные осевые нагрузки, особенно при бурении раздробленных мягких пород, должны определяться с учетом предельных усилий на сдвиг для конкретных пород.

Рекомендуемые значения осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент при бурении сильнотрещиноватых раздробленных пород с использованием двойных колонковых снарядов с невращающейся внутренней колонковой трубой приводятся в табл. 5-20.

При применении двойных колонковых труб типа ТДН в случае попадания в керновый зазор частиц мелкой фракции керна, сопоставимой по размерам с керновым зазором, распределение усилий, действующих на указанную частицу, существенно отличается от процессов, имеющих место при бурении одинарным колонковым снарядом (ОКС). При неподвижной керноприемной трубе частицы мелкой фракции, способные проникнуть в керновый зазор, под действием гравитационных сил и за счет сил трения в парах «порода — порода» и «металл — порода» начинают перемещаться по образующей керна, одновременно врезаясь в неотделенный столбик керна и керноприемную трубу. При врезании частиц в основную массу керна и в керноприемную трубу с усилием P_{oc} могут иметь место три случая.

1. Частица мелкой фракции раздавливается и под действием гравитационных сил и слабых вибрационных воздействий посту-

Площади разрушения породы на забое скважины
и поперечного сечения керна

Показатель	Диаметр бурения, мм								
	46			59			76		
	Внутренний диаметр коронки, мм								
	34	31	24	45	42	35	62	58	48
Площадь забоя $F_3, \text{ см}^2$	7,54	9,07	12,10	11,40	13,48	17,72	15,17	18,94	27,26
Площадь поперечного сечения керна $F_k, \text{ см}^2$	9,08	7,55	4,52	15,90	13,85	9,62	30,19	26,42	18,10
Соотношение площадей F_3/F_k	0,83	1,20	2,68	0,72	0,97	1,84	0,50	0,72	1,51

пает в зону кернорвательного устройства, откуда может перейти под торец коронки и далее вынести потоком промывочной жидкости в буровой шлам.

2. Частица мелкой фракции, продвигаясь вдоль керна, нарезает борозду по образующей основного столбика керна. При неполном охвате частицами мелкой фракции неотделенного столбика керна могут возникнуть условия отделения керна от забоя под воздействием изгибающих нагрузок. Крутящий момент в данных условиях на керн не передается.

3. Частицы мелкой фракции, попадая в керновый зазор, про-двигаются по направлению к забою скважины и заклинивают основной неотделенный столбик керна. При этом развитие процесса заклинивания имеет свои особенности. В износе керна практически отсутствует процесс истирания, и керн подвергается в основном одноосному сжатию.

Как указывалось ранее, развиваемые при заклинивании керна усилия не могут превышать значений осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент и соответственно максимальное усилие, действующее на керн вдоль продольной оси и приводящее к сжатию керна, не превышает значений осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент P_{oc} . Важно выяснить вопрос о возможности разрушения керна при одноосном сжатии с указанной максимальной нагрузкой.

В соответствии с инструкциями ВИТР рекомендуемая осевая нагрузка на однослойные коронки диаметром 46 мм около 400—1400 даН, 59 мм около 500—1800 даН, 76 мм около 600—2100 даН. Для импрегнированных алмазных коронок максимальные осевые нагрузки по сравнению с однослойными могут быть увеличены на 25—30 %. Расчетные значения площади

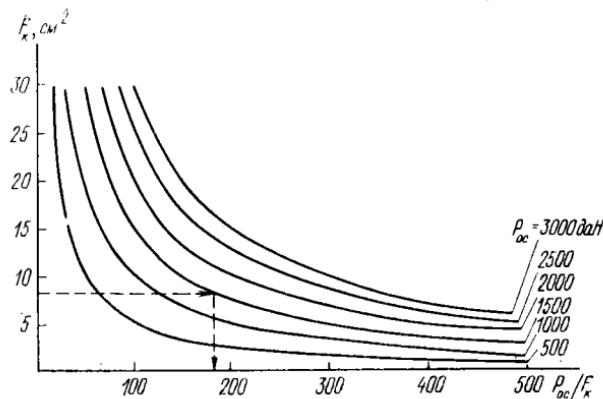


Рис. 5-29. Номограмма определения удельной осевой нагрузки P_{ax} на поперечное сечение керна F_x .

разрушения породы на забое скважины и площади поперечного сечения керна приводятся в табл. 5-21.

Сопоставляя максимально возможные осевые нагрузки и площади поперечных сечений керна при различных диаметрах бурения, можно сделать вывод, что при заклинивании керна в неподвижной керноприемной трубе максимальные значения осевой нагрузки (особенно при бурении коронками с утолщенной матрицей) достаточны для разрушения керна слабых пород при одноосном сжатии. Для оперативной оценки вероятности разрушения керна при одноосном сжатии в керноприемной трубе можно воспользоваться номограммой для определения удельной осевой нагрузки на единицу площади поперечного сечения керна (рис. 5-29).

При бурении слабых горных пород с пределом прочности на одноосное сжатие 20—30 даН/см² (слабые алевролиты, слабые песчаники на глинистом цементе, пористые известняки и др.) могут быть созданы условия для раздавливания керна при одноосном сжатии. Особенно велика вероятность раздавливания при бурении со специальными двойными трубами, комплектуемыми алмазными коронками с широкой матрицей (типы ТДН-4, ТДН-ССК). Важную роль в указанном процессе играет диаметр бурения, с уменьшением его вероятность раздавливания керна увеличивается.

Для обеспечения кондиционного выхода керна при бурении слабых пород специальными техническими средствами с неподвижной внутренней трубой необходимо соблюдать следующие рекомендации:

- ограничивать осевую нагрузку на породоразрушающий инструмент диаметром 46, 59 и 76 мм соответственно в пределах 600, 1000 и 1500 даН;

— перед каждым рейсом проверять исправность подшипникового узла во избежание его заклинивания, т. е. вращения внутренней керноприемной трубы относительно керна;

— при резком снижении механической скорости вследствие заклинивания керна необходимо прекратить рейс и произвести подъем снаряда.

При бурении двойными колонковыми наборами с неподвижной внутренней керноприемной трубой практически невозможно ликвидировать заклинивание керна путем изменения технологических параметров режима бурения. В случае заклинивания керна в керноприемной трубе или резко снижается механическая скорость (при бурении крепких и средней крепости пород), или начинается процесс разрушения и износа керна раздавливанием при одноосном сжатии без существенного изменения механической скорости бурения (при бурении очень мягких, слабосвязных пород). В первом случае рейс прерывается и производится подъем снаряда. Во втором — без проведения мероприятий для получения кондиционного выхода керна происходят потери его, и проба становится некачественной. При этом существенно важное значение имеет продолжительность процесса заклинивания керна. Важно выявить соотношение времени существования заклинивания и времени чистого бурения $T_{закл}/T_{ч. б.}$.

При нормальном неосложненном процессе бурения вполне правомерно соотнести время чистого бурения с выходом керна (линейным, весовым или объемным). В общем виде указанная зависимость может быть записана следующим выражением:

$$B_k = f(T_{ч. б.}). \quad (5-67)$$

Тогда соответственно износ керна есть функция от времени износа, в нашем случае от времени заклинивания:

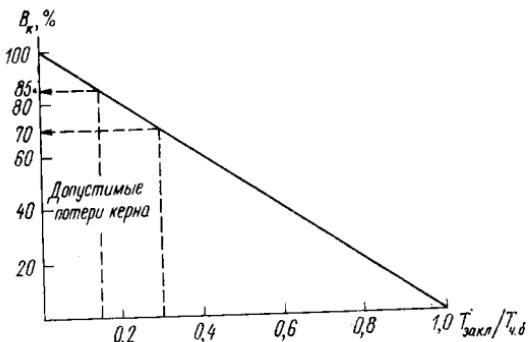
$$I_k = f(T_{закл}). \quad (5-68)$$

Очевидно, что время заклинивания не может превышать время чистого бурения данного рейса, т. е.

$$T_{закл} < T_{ч. б.}. \quad (5-69)$$

При бурении с двойными колонковыми трубами типа ТДН в мягких слабосвязных породах при скорости износа v_i , сопоставимой с механической скоростью бурения $v_{мех}$, износ керна связан с временем заклинивания прямой пропорциональной зависимостью. Время заклинивания удобнее всего измерять соотношением с временем чистого бурения, т. е. в долях его, что позволяет связать время заклинивания с выходом керна в данном рейсе. Зависимость выхода керна от соотношения времени заклинивания и времени чистого бурения показана на рис. 5-30.

Рис. 5-30. Зависимость выхода керна от времени существования процесса заклинивания.



При разведке полезных ископаемых выход керна при бурении скважин должен быть не менее 70—85 %. В связи с этим продолжительность заклинивания не должна превышать 15—30 % от времени чистого бурения, после чего рейс должен быть прерван во избежание получения непредставительной керновой пробы.

ОСОБЕННОСТИ ИЗНОСА КЕРНА В КЕРНОПРИЕМНОЙ ТРУБЕ ПРИ БУРЕНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕЦИАЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ С ОБРАТНОЙ ПРОМЫВКОЙ

Специальные технические средства с обратной промывкой составляют большую группу технических средств, объединенных общим признаком: полным омыванием керна струей промывочной жидкости, направленной навстречу общему направлению движения снаряда.

В настоящем разделе рассматривается группа специальных технических средств с обратной промывкой и изоляцией керна от воздействия вращения колонковой трубы и сопутствующих вращению вибраций колонкового снаряда (типа ТДН-0).

При рассмотрении особенностей износа керна при бурении указанными техническими средствами принято, что керновый материал контактирует с промывочной жидкостью по всей длине пробы, это обуславливает решающую роль очистного агента в транспортировке и перемещении отдельных фракций керновой пробы, размывании и растворении кернового материала. Вектор движения потока очистного агента противоположен направлению гравитационной составляющей суммы сил, действующих на отдельные фракции керновой пробы, что обуславливает в зависимости от скорости восходящего потока вынос части фракций керновой пробы во взвешенное состояние и существенное снижение влияния гравитационного воздействия на керн. Внутренняя керноприемная труба, соединенная

с верхним переходником с помощью подшипникового узла, не вращается в процессе бурения. Таким образом, существенно снижено воздействие на керн вибраций бурового снаряда и снято воздействие вращающихся частей самого колонкового снаряда.

В целом схема износа керна в этом случае аналогична износу керна в одинарном колонковом снаряде. Однако кардинальное изменение направления движения потока жидкости в указанных технических средствах накладывает свои особенности на общий процесс кернообразования, к которым можно отнести следующие:

— существенно меняется соотношение видов износа керна в связи с применением данных технических средств в зонах сильно разрушенных, трещиноватых пород. При стабильном обратном потоке промывочного агента в керноприемной трубе основным видом износа кернового материала является вымывание мелких фракций керна обратным потоком промывочной жидкости;

— процесс объемного дробления и скалывания керна, имея подчиненное значение, достаточно интенсивен за счет активного перемещения отдельных кусков потоком промывочной жидкости (эффект бесшаровой мельницы) и близок по интенсивности к аналогичному процессу в одинарном колонковом снаряде;

— при достаточно интенсивном и стабильном обратном потоке промывочной жидкости практически отсутствует вероятность подклинивания керна частицами с размером $\approx K_3$ и существенно снижается вероятность взаимоподклинивания двумя соседними столбиками керна и заклинивания уплотнением;

— практически отсутствует износ керна по диаметру и образующей вследствие незначительности усилий взаимодействия пары «отдельная частица — столбик керна».

Основным видом износа керна при бурении специальными техническими средствами с обратной промывкой является вымывание мелкой (<5 мм) фракции кернового материала. В связи с этим важное значение для обеспечения представительности керновой пробы имеет четкий контроль за качеством промывочного агента, и особенно за стабильностью работы бурового насоса и расхода промывочной жидкости.

Минимальный расход промывочной жидкости должен устанавливаться из расчета поддержания во взвешенном состоянии и выноса в буровой шлам всех частиц керновой пробы размером менее кернового зазора K_3 . При максимальном расходе промывочной жидкости должны обеспечиваться условия, препятствующие выносу в затрубное пространство частиц мелкой фракции керна (>5 мм).

Расчеты критических значений расходов промывочной жидкости при бурении специальными техническими средствами с обратной промывкой выполнены по формулам:

$$Q = (\pi/4) [(d_b^2 - d_k^2) v_b]; \quad (5-70)$$

$$v_b = K_n (U + C); \quad (5-71)$$

$$U = K_\Phi \sqrt{d_q (\rho_p - \rho)} / \rho, \quad (5-72)$$

где d_b — внутренний диаметр керноприемной трубы; d_k — диаметр керна; v_b — скорость восходящего потока; K_n — коэффициент, учитывающий неравномерность скорости движения восходящего потока; U — скорость падения частицы под действием силы тяжести; C — скорость выноса частиц; K_Φ — коэффициент, зависящий от формы частиц; d_q — критический диаметр частицы; ρ_p , ρ — соответственно плотность породы и промывочного агента.

При расчетах для выбора значений эмпирических коэффициентов K_Φ и K_n приняты следующие граничные условия:

— при минимальных расходах промывочной жидкости должны обеспечиваться условия выноса частиц мелкой фракции керна любой формы, в том числе и шарообразной. В связи с этим принимается максимальное значение коэффициента $K_\Phi = 5,11$ (для частиц шарообразной формы);

— при максимальных критических расходах промывочной жидкости в полости керноприемной трубы должны оставаться частицы керна крупностью более 5 мм любой, в том числе и неправильной формы. В данном случае для частиц неправильной формы принимается значение коэффициента $K_\Phi = 2,5$;

— расчеты критических значений расходов промывочной жидкости проводятся для условий бурения алмазными коронками с высокими механическими скоростями при промывке водой и глинистым раствором плотностью $\rho = 1,2$ г/см³. В связи с этим значения коэффициента неравномерности K_n и скорости выноса частиц C приняты максимальными: $K_n = 1,3$ и $C = 0,3U$.

Результаты расчетов критических значений расхода промывочного агента сведены в табл. 5-22.

Приведенные значения расходов промывочного агента соответствуют восходящему потоку в полости керноприемной трубы, куда при обратной промывке поступает около 70 % общего фактического количества промывочного агента, подаваемого буровым насосом. Для определения подачи насоса расчетные критические значения промывочной жидкости следует умножить на коэффициент $K = 1,4$.

Рекомендуемые значения расхода промывочной жидкости при бурении техническими средствами с обратной промывкой приводятся в табл. 5-23.

Таблица 5-22

Критические значения расхода промывочной жидкости при бурении двойными колонковыми трубами ТДН-0

Тип колонкового снаряда	Керновый зазор K_3 , мм	Площадь сечения керноприемной трубы, мм^2	Минимальный критический размер частиц, мм	Максимальный критический размер частиц, мм	Минимальный расход промывочной жидкости, $\text{дм}^3/\text{мин}$	Максимальный расход промывочной жидкости, $\text{дм}^3/\text{мин}$
Промывка технической водой						
ТДН-59-0	2,25	1194,6	2,25	5,0	7,8	26,2
ТДН-76-0	1,75	1924,4	1,75	5,0	7,0	42,5
ТДН-93-0	1,5	3739,3	1,50	5,0	7,8	82,1
Промывка глинистым раствором с $\rho = 1,2 \text{ г}/\text{см}^3$						
ТДН-59-0	2,25	1194,6	2,25	5,0	6,6	22,3
ТДН-76-0	1,75	1924,4	1,75	5,0	5,8	35,9
ТДН-93-0	1,5	3739,3	1,50	5,0	6,6	69,7

Таблица 5-23

Рекомендуемые значения расхода, $\text{дм}^3/\text{мин}$, промывочной жидкости при бурении двойными колонковыми трубами ТДН-0

Тип промывочной жидкости	Типоразмер двойных труб					
	ТДН-59-0		ТДН-76-0		ТДН-93-0	
	Минимальный	Максимальный	Минимальный	Максимальный	Минимальный	Максимальный
Техническая вода	11,0	37,0	10,0	60,0	11,0	115,0
Глинистый раствор с $\rho = 1,2 \text{ г}/\text{см}^3$	9,6	32,0	8,5	50,0	9,5	100,0

При бурении двойными колонковыми снарядами типа ТДН-0 важную роль играет контроль за стабильностью расхода промывочной жидкости. В случае прекращения ее подачи происходит оседание взвешенных в обратном потоке частиц шлама и скапливание их в области кернорвателя, что приводит к заклиниванию отдельных столбиков керна в керноприемной трубе и в конечном итоге к повышенному износу кернового материала.

Критический диаметр частиц d_c , оседающих в промывочной жидкости, можно рассчитывать по формуле

$$d_c = 6K_{1\Phi}\theta / (\gamma_p - \gamma_p), \quad (5-73)$$

где $K_{1\Phi}$ — коэффициент формы (для колонкового разведочного бурения $K_{1\Phi}=1,75$); θ — статическое напряжение сдвига (для

воды $\theta = 1,0$ Па, для глинистого раствора $\theta = 3 \div 5$ Па); γ_n , γ_p — соответственно удельный вес горной породы и промывочной жидкости, Н/м³.

Проведенные расчеты показывают, что при кратковременном прекращении подачи промывочной жидкости критический диаметр частиц, не оседающих в растворе, составляет для воды 0,11 мм, для глинистого раствора ($\theta = 4$ Па) — 0,51 мм.

Таким образом, при перерывах в работе бурового насоса во взвешенном состоянии остаются только частицы шлама с размерами существенно меньше кернового зазора. Частицы, близкие по размерам к керновому зазору, оседают в нижней части керноприемной трубы, и при превышении предельных значений объема мелкой фракции начинает развиваться явление заклинивания уплотнением.

В связи с этим при повторном включении насоса после перерыва в подаче промывочной жидкости существенно возрастают гидравлические сопротивления в керноприемной трубе. В этих случаях при бурении с обратной промывкой следует выключить вращение и приподнять буровой снаряд во избежание зашламования колонкового снаряда в скважине. При необходимости продолжения бурения перед включением вращения следует тщательно промыть скважину и керноприемную трубу. При стабильном повышении давления на манометре бурение следует прекратить и поднять снаряд на поверхность.

Выполненные исследования позволили разработать практические рекомендации по обеспечению получения кондиционного керна высокого качества в процессе бурения скважин в сложных горно-геологических условиях, а также вплотную подойти к созданию основ теории процесса кернообразования при алмазном бурении.

Основные положения модели износа керна при алмазном бурении позволяют на принципиально новом качественном уровне подойти к решению практических вопросов по выбору специальных технических средств для отбора керна при геологоразведочном бурении и по разработке технологии применения указанных средств в различных горно-геологических условиях.

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ОТБОРА КЕРНА

КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ И СПОСОБОВ ОТБОРА КЕРНА

Для решения вопроса о перспективности применения того или иного технического средства или технологического метода получения керна необходим детальный анализ существующих средств и способов обеспечения кондиционного выхода керна при бурении скважин на твердые полезные ископаемые.

Анализ литературных источников [9, 10, 12, 15, 16, 18, 34—39, 42, 49—58] дает возможность классифицировать технические средства и способы получения кондиционного керна по областям их применения. В целом все многообразие существующих средств и способов получения керна можно разделить на два основных класса.

I. Специальные технические средства получения представительной керновой пробы при бурении геологоразведочных скважин.

II. Технологические методы и приемы, обеспечивающие получение представительной керновой пробы без использования специальных технических средств отбора керна.

В свою очередь существующие технические средства для получения керновых проб при бурении скважин подразделяются на две большие группы.

А. Специальные технические средства для отбора образцов горных пород из скважины в процессе бурения.

Б. Специальные технические средства для отбора образцов горных пород из стенок пробуренных скважин после окончания бурения.

Современный арсенал технических средств отбора керна включает в себя множество устройств и конструкций колонковых снарядов, позволяющих получать кондиционный выход керна в различных горно-геологических условиях.

Рассматривая эти средства, можно отметить, что одни из них нашли широкое применение в практике работ, другие применяются в узких специфических условиях, третьи пока не

Таблица 6.1

**Схема классификации специальных технических средств
для отбора керна, по С. С. Сулакшину**

Группа	Способ отбора керна	Средства отбора керна
I	Снарядами, работающими с промывкой и продувкой при полной циркуляции жидкости или воздуха в скважине	<ol style="list-style-type: none"> Одинарные колонковые снаряды (ОКС) Двойные колонковые снаряды (ДКС): <ol style="list-style-type: none"> ДКС с вращающейся внутренней трубой; ДКС с невращающейся внутренней трубой; ДКС комбинированного типа (с вращающейся и невращающейся при бурении внутренними трубами) Двойные колонковые снаряды со съемным керноприемником (ССК) (ССК с невращающейся керноприемной трубой) Двойные колонковые снаряды с герметизирующейся керноприемной трубой
II	Снарядами, работающими при неполной (местной) циркуляции жидкости	<ol style="list-style-type: none"> Снаряды с местной циркуляцией жидкости с шариковым клапаном для безнасосного бурения Снаряды с местной циркуляцией жидкости с поршнем
III	Снарядами, работающими с комбинированной циркуляцией жидкости	<ol style="list-style-type: none"> Снаряды с местной циркуляцией жидкости, осуществляющейся при помощи забойного насоса, приводимого в действие потоком жидкости, подаваемой с поверхности Снаряды с местной циркуляцией жидкости водоструйного типа, работающие с применением насоса на поверхности Снаряды с местной циркуляцией жидкости, осуществляющейся за счет периодического вытеснения жидкости сжатым воздухом (с пульсирующей промывкой) Снаряды с эрлифтной промывкой
IV	Снарядами, работающими без промывки или продувки	<ol style="list-style-type: none"> Снаряды вращательного действия: <ol style="list-style-type: none"> Ложки, змеевики, шнеки; Шnekоколонковые снаряды; Снаряды вращательного действия Снаряды ударного (забивного), вибрационного и сплавного действия: <ol style="list-style-type: none"> Желонки, стаканы; Снаряды забивного действия; Виброснаряды; Снаряды задавливаемого и комбинированного действия

находят применения из-за сложности и громоздкости конструкций или трудности реализации принципа их работы.

Известно, что основной задачей средств отбора керна является 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. К конструктивным особенностям колонковых снарядов относятся: система промывки в керноприемной части снаряда, конструкция керноприемной трубы и ее соединений, способ заклинивания 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 по другим признакам. Известны классификации А. К. Атякина, Б. И. Воздвиженского, С. А. Волкова, В. Т. Воротынцева, С. С. Сулакшина. Последняя (табл. 6.1) 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 (призабойной) 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.

Из табл. 6.2 следует, что при последовательной замене прямой промывки на комбинированную, обратную, всасывающую

Типы промывки в керноприемной части снаряда

Ранговый порядок типа промывочной жидкости	Тип промывки	Тип промывки в керноприемной трубе	Характер и степень воздействия промывочной жидкости на керн
1	Прямая промывка	Прямая промывка вдоль всей оси керна	Керн полностью омывается прямым потоком промывочной жидкости, поэтому разрушение может происходить равновероятно по всей его длине. (Максимальное воздействие разрушающего фактора)
2	Комбинированная промывка (прямая промывка на участке от конца керноприемной трубы до забоя скважины)	Нет движения промывочной жидкости в керноприемной трубе. Жидкость, находящаяся в керноприемной трубе, вытесняется поступающим в нее керном в кольцевой зазор между трубами	Воздействие промывочной жидкости только на участке от нижнего конца керноприемной трубы до забоя скважины. (Влияние разрушающего фактора несколько ослаблено)
		Обратная всасывающая промывка производится за счет эжекции	Воздействие прямого потока промывочной жидкости на керн значительно ослаблено. Часть жидкости всасывается в керноприемную трубу, поддерживая керн и шлам во взвешенном состоянии. (Влияние разрушающего фактора ослаблено)
		Обратная нагнетательная промывка за счет искусственного увеличения гидравлических сопротивлений в затрубном пространстве	В этом случае обратная промывка более стабильна, условия сохранности керна улучшаются. (Влияние разрушающего фактора ослаблено)

Ранговый порядок типа промывочной жидкости	Тип промывки	Тип промывки в керноприемной трубе	Характер и степень воздействия промывочной жидкости на керн
3	Обратная промывка (вдоль всей оси керна)	Нагнетательная промывка полным потоком	Обратная промывка полным потоком препятствует скоплению шлама в загруженных сечениях кольцевого зазора между керном и керноприемной трубой, снижает взаимное истирание кусков керна. (Влияние разрушающего фактора ослаблено)
		Всасывающая промывка полным потоком	Всасывающая промывка полным потоком обеспечивает улучшение сохранности керна слабых пород, но при этом может происходить затирка всухую и сокращение углубки за рейс. (Влияние разрушающего фактора ослаблено)
		Всасывающая периодическая промывка	Воздействие всасывающей промывки периодическое. Сохранность керна весьма высокая. (Влияние разрушающего фактора значительно ослаблено)
4	Без промывки в керноприемной части снаряда	Выход промывочной жидкости под торец коронки	Керн контактирует только с неподвижной жидкостью в керноприемной трубе. (Влияние разрушающего фактора минимальное)
		Выход промывочной жидкости на верхней ступени забоя за счет опережения керноприемной трубой (тампоном) наружной колонковой трубы	Керн может контактировать с промывочной жидкостью в случае нарушения технологии бурения. (Влияние разрушающего фактора минимальное и случайное)
		Промывочная жидкость не применяется	(Разрушающий фактор отсутствует)

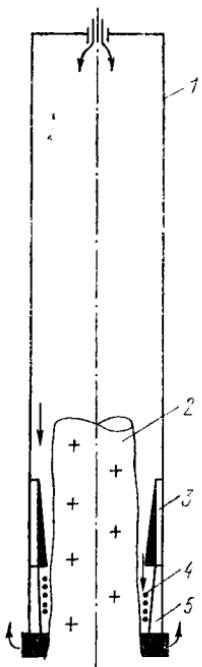


Рис. 6-1. Принципиальная схема работы технических средств отбора керна с прямой промывкой (одинарные колонковые трубы).

1 — керноприемная труба; 2 — керн; 3 — керноприемное кольцо;
4 — заклиночный материал; 5 — коронка.

или вообще без ее применения степень влияния промывочной жидкости на керн уменьшается. Это согласуется с данными, полученными в результате стендовых и производственных исследований. Так, при работе на высокогооборотном стенде ВИС-3000 М при бурении перемежающихся горных пород с частотой вращения 1500 мин^{-1} выход керна последовательно увеличивался при замене одинарных колонковых труб на двойные трубы (типа ТДН-2, ТДН-УТ) и при бурении «всухую» (схемы промывок: прямая, комбинированная, без промывки).

Разработанная в ВИТР на основе ранговой шкалы классификация технических средств отбора керна по типу промывки в керноприемной части снаряда [56] приведена в табл. 6-3. Как видно из этой таблицы, большинство средств отбора керна представляют собой одинарные или двойные колонковые снаряды, для которых кроме типа промывки характерны соответствующие конструктивные элементы: тип породоразрушающего инструмента, рвательного устройства, узла подвески и дополнительные устройства, используемые в некоторых технических средствах.

Средства для отбора керна при бурении с прямой промывкой представляют одинарные колонковые снаряды (рис. 6-1). Прямой поток промывочной жидкости, перемещаясь в колонковой трубе, омывает керн. При этом частицы горной породы перемещаются к забою и выносятся через промывочные каналы коронки в скважину. Промывочные каналы коронки и кольцевой зазор между керном и колонковой трубой выполняют роль классификатора, пропускающего в скважину частицы шлама, меньшие по размеру, при этом крупные частицы шлама скапливаются перед промывочными каналами коронки и в кольцевом зазоре, способствуя самозаклиниваниям керна. Часть осевого усилия передается на керн, ускоряя его разрушение.

В одинарных колонковых снарядах керн не защищен от контакта с вращающейся и имеющей поперечные вибрации керноприемной трубой, что способствует его истиранию и дроблению. По мере уменьшения прочности и увеличения степени

дезинтеграции горной породы скорость разрушения керна увеличивается.

С одинарными колонковыми снарядами используется широкий ассортимент серийных твердосплавных и алмазных коронок, причем последние могут быть со стандартной, уменьшенной и увеличенной толщиной матрицы.

Кернорвательные устройства открытого типа, имеющие контакт с керном в процессе бурения, обычно с пружинным рвательным кольцом. Их достоинством является простота устройства и возможность заклинивания керна без приложения дополнительных механических усилий простым отрывом снаряда от забоя, недостатком — уменьшение площади кольцевого сечения для прохода промывочной жидкости и возможность самоподклинивания керна раздробленных горных пород или подклинивания шламом.

Преимуществом одинарных колонковых снарядов, связанных с бурильной колонной простым переходником и не имеющих в своем составе дополнительных устройств, является простота конструкции и организации бурения, а также наличие широкого ассортимента серийного породоразрушающего инструмента. Однако следует отметить, что прямая промывка не обеспечивает кондиционного выхода керна при бурении трещиноватых, перемежающихся по крепости и ослабленных горных пород, что вызывает необходимость разработки новых средств с другими типами промывки.

Средства для отбора керна при бурении с комбинированной промывкой (рис. 6-2) занимают положение между средствами с прямой и обратной промывками. Конструктивно они представляют собой двойные колонковые трубы, для которых характерно опережение наружной колонковой трубы по отношению к внутренней керноприемной.

На участке Z_1 (для большинства средств от забоя скважины до нижнего среза кернорвательного устройства) промывка прямая, поэтому, как и в предыдущем случае (рис. 6-1), здесь может происходить разрушение керна. В то же время, если физико-механические свойства горных пород позволяют керну сохраняться на участке Z_1 , то в керноприемной трубе (участок Z_2) вероятность сохранения керна увеличивается. Следовательно, при комбинированной промывке действие промывочной жидкости на керн ослаблено по сравнению с прямой промывкой.

На схемах (рис. 6-2, а и б) показаны технические средства без движения жидкости в керноприемной трубе. В этих средствах промывочная жидкость движется к забою скважины по кольцевому зазору между трубами и на участке Z_1 вступает в контакт с керном. Из керноприемной трубы жидкость вытесняется поступающим керном через дренажное отверстие.

Классификация технических средств отбора керна

Характеристика промывки	Средства отбора керна	Разработчик средств отбора керна и стадия разработки	Харак	
			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 твердо-сплавные	
			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 съемными керноприемниками типа КССК-76, ССК-59, ССК-46	ВИТР, СКБ МГ СССР, серийные	Специальные алмазные и твердо-сплавные типа К-01, К-02, К-08 и др.	
	Двойная труба типа ДК-57-Б	«Запсибгеология», изготавливается в мастерских	Специальная утолщенная твердо-сплавная	
	Двойная труба типа ДКТБ-57	То же	То же	
	Двойная труба типа ДКСВ-108/89	«Волковгеология», изготавливается в мастерских	То же	

Таблица 6-3

по типу промывки в керноприемной части снаряда

Характеристика конструкций средств отбора керна			Условия применения средств отбора керна (по рекомендации разработчика)
Тип рвательного устройства	Тип узла подвески керноприемной тру- бы, особенности	Дополнительные устройства керно- приемной трубы, особенности	
промывка			
Открытого типа, пружинный	Переходник с бу- рового снаряда на колонковую трубу	—	Монолитные сла- бобрещиноватые породы VI—XII категории по буримости, не- размываемые по- роды I—V кате- горий
промывка			
То же	Вращающаяся керноприемная труба, пере- ходник с бу- рового снаря- да на колонко- вую трубу	Выход жидкости выше рватель- ного устройст- ва	Монолитные сла- бобрещинова- тые породы VI—XII кате- горий
»	Невращающаяся керноприемная труба, закры- тый подшипни- ковый узел	То же	То же
»	То же	Выход жидкости ниже рватель- ного устройст- ва	Слабобрещинова- тые, преиму- щественно од- нородные поро- ды VI—XII категорий
»	»	Сигнализатор са- моподклинивания, приспосо- бления для подъема керно- приемной тру- бы овершотом	Монолитные, сла- бобрещиноватые и трещинова- тые породы IV—X катего- рий
Открытого типа, пружинный штамп на кер- ноприемной трубе	»	Кассета внутри керноприемной трубы	Трециноватые и слабые породы угольных место- рождений Куз- басса
Открытого типа, лепестковый	»	—	То же
То же	»	—	Конгломераты гравелиты, ме- таморфический комплекс гор- ных пород

Характеристика промывки	Средства отбора керна	Разработчик средств отбора керна и стадия разработки	Харак-	
			Тип коронки, ее характеристика	
В керноприемной трубе нет движений промывочной жидкости	Двойная колонковая труба типа 34Д-93	«Сахалингеология», изготавливается в мастерских	Специальная утолщенная твердо сплавная	
	Двойная колонковая труба типа ДКТ-76	«Бурятгеология», изготавливается в мастерских	Специальная утолщенная ступенчатая твердо сплавная	
	Двойная колонковая труба типа ДКН-К1-76, ДКН-К1-59	«Кривбассгеология», изготавливается в мастерских	Серийные алмазные с проточкой по внутреннему диаметру	
	Двойная колонковая труба типа ДКН-59	«Севзапгеология», изготавливается в мастерских	Специальная твердо сплавная утолщенная	
Обратная				
Всасывающая	Двойные эжекторные снаряды типа ДЭС-89, ДЭС-73	ЦНИГРИ, серийные	Специальные алмазные и твердо сплавные	
	Двойная труба типа ЭКСТ	КазИМС, опытные образцы	Специальная утолщенная твердо сплавная	
	Двойная труба типа КНТ-76, КНТ-59	«Бурятгеология», изготавливается в мастерских	Алмазные для труб ТДН-2	
Нагнетательная	Двойная труба типа ТДН-76-УТ, ТДН-59-УТ	ВИТР, серийные	Алмазные типа КУТ и КУТИ	
	Одинарные снаряды с герметизацией устья скважины	То же	Серийные алмазные и твердо сплавные	

Характеристика конструкций средств отбора керна			Условия применения средств отбора керна (по рекомендации разработчика)
Тип рвательного устройства	Тип узла подвески керноприемной тру- бы, особенности	Дополнительные устройства керно- приемной трубы, особенности	
Открытого типа, зубчатый	Невращающаяся керноприемная труба, открытый подшипниковый узел на шаровой пяте	—	Осадочный ком- плекс пород
Открытого типа, лепестковый	Невращающаяся керноприемная труба, закры- тый подшипни- ковый узел	—	Угольное место- рождение
То же	То же	—	Сильнотрещинова- тые, крепкие железные руды, джеспилиты, роговики IX— XI категорий
Без кернорватаеля	Невращающаяся керноприемная труба, открытый подшипни- ковый узел на шаровой пяте	Встроенный в кер- ноприемную трубу поршень	Месторождение фосфоритов
промывка			
Открытого типа, пружинный	Невращающаяся керноприемная труба, закры- тый подшипни- ковый узел	Шламовая труба закрытого типа	Месторождения олова, золота, рутти
Открытого типа, лепестковый	То же	То же	Комплекс тре- щиноватых по- род V—IX кате- горий
Открытого типа, пружинный	»	Шламовая труба, сильфон, кос- венное ориенти- рование керна	Трещиноватые по- роды VI—XII категорий
Открытого типа, пружинный	»	—	Трещиноватые по- роды VI—XII категорий
То же	Переходник с бу- рового снаряда на колонковую трубу	Герметизатор устья сква- жины типа УГ	Горные породы IV—XII кате- горий, без ощу- тимых потерь промывочной жидкости в скважине

Характеристика промывки	Средства отбора керна	Разработчик средств отбора керна и стадия разработки	Харак	
			Тип коронки, ее характеристика	
Нагнетательная	С двойной колоннной бурильными трубами и гидротранспортом керна	СКБ МГ СССР, серийные	Специальные твердосплавные	
	Одинарные пакерные снаряды типа КПБ, КПП	«Уралгеология», изготавливается в мастерских	Серийные	
	Двойные колонковые трубы типа ТДН-0	ВИТР, серийные	Специальные алмазные	
Всасывающая	Двойные колонковые трубы типа ДКНТ-ВП	КазИМС, серийные	Специальные твердосплавные	
	Двойная труба типа ТДН-76-ОТ	«Красноярск-геология», изготавливается в мастерских	То же	
	Одинарный эжекторный снаряд типа ОЭС	ЦНИГРИ, серийные	Серийные алмазные и твердосплавные	
	Одинарные эжекторные снаряды конструкций ЭКС, ОЭТ, ЭЦ и др.	САИГИМС, Донбассгеология	То же	
	Одинарный эжекторный снаряд с вибратором типа УКН	«Севукргеология», изготавливается в мастерских	»	
	Одинарный снаряд с эрлифтным насосом типа КОЭН	ВИТР	»	
Двигательная	Двойные эжекторные снаряды типа ДЭКС	«Центргеология», изготавливается в мастерских	Две твердосплавные	

Техническая характеристика 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	
Кернолом	—	—	Бокситовые, силикатно-никелевые месторождения
Открытого типа, пружинный	Пакерный переходник	—	Горные породы VI—XII категорий, без потерь жидкости в скважине
Открытого типа, пружинный и лепестковый	Невращающаяся керноприемная труба, открытый и закрытый подшипниковый узел	—	Трециноватые и сильноутрециноватые породы VI—XII категорий
Открытого типа, лепестковый	Невращающаяся керноприемная труба, закрытый подшипниковый узел	Шламовая труба с гидроциклоном	Трециноватые и сильноутрециноватые породы IV—IX категорий
Открытого типа, пружинный	То же	—	Трециноватые породы VI—IX категорий
Без кернорватаеля	Простой переходник с бурового снаряда на колонковую трубу	Закрытая шламовая труба	Трециноватые и перемежающиеся по крепости породы
То же	То же	То же	То же
»	»	Вибратор, шламовая труба	»
»	»	Эрлифтный насос	»
»	Вращающаяся керноприемная труба, подшипникового узла нет, переходник с бурового снаряда на колонковую трубу	Шламовая труба	Трециноватые и перемежающиеся по крепости породы V—VIII категорий

Характеристика промывки	Средства отбора керна	Разработчик средств отбора керна и стадия разработки	Харак-	
			Тип коронки, ее характеристика	
Всасывающая	Двойной эжекторный снаряд типа ТЭД	«Уралгеология», изготавливается в мастерских	Две алмазные	
	Двойная колонковая труба типа СЭ	«Востказгеология»	Проточенные алмазные типа АКУ	
	Двойные колонковые трубы типа ЭКС	«Запказгеология»	Алмазные и твердосплавные	
Всасывающая, периодическая	Безнасосное бурение		Преимущественно серийные твердосплавные	
	Снаряды с погружным поршневым насосом с механическим или гидравлическим приводом	На стадии экспериментов	Серийные	
Без движения промывочной жидкости в керноприемной части спаряда	Двойные колонковые трубы типа ТДН-4	ВИТР, серийные	Специальные алмазные	
	Двойные колонковые трубы с опережающей керноприемной трубой	Двойная труба «Львовуглегеология», изготавливается в мастерских	Две алмазные или твердосплавные	

Характеристика 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	
Открытого типа, пружинный	Вращающаяся керноприемная труба, переходник с бурового снаряда на колонковую трубу	Шламовая труба	Трециновые и перемежающиеся по крепости породы VI—XII категорий
То же	То же	Гидроциклонный шламоуловитель	Сильнотрециноватые породы VI—XII категорий
»	»	Шламовая труба	Сильнотрециноватые породы III—XII категорий
Без кернорватаеля	Простой переходник с бурового снаряда на колонковую трубу	Шариковый клапан для создания обратной циркуляции, иногда шламовая труба	Силикатно-никелевые, бокситовые, фосфоритовые месторождения
То же	То же	Встроенный погружной насос	То же
Открытого типа, пружинный	Невращающаяся керноприемная труба, закрытый подшипниковый узел	Встроенный погружной насос	Сильнотрециноватые породы VI—XII категорий
Открытого типа, пружинный или лепестковый	Вращающаяся керноприемная труба, подшипникового узла нет	—	Сильнотрециноватые, перемежающиеся по крепости породы

Характеристика промывки	Средства отбора керна	Разработчик средств отбора керна и стадия разработки	Харак
			Тип коронки, ее характеристика
Без движения промывочной жидкости в керноприемной части снаряда	Двойная колонковая труба (С. Е. Алексеенко) ДТА-2	«Донбассгеология», серийная	Твердосплавная коронка и штамп
	Двойная труба ДонбассНИЛ-І	ДонбассНИЛ, опытные образцы	То же
	Двойная труба ДонбассНИЛ-ІІ	То же	Две твердосплавные
	ДонбассНИЛ-ІІІ	То же	Твердосплавная коронка и штамп
Без			
	Шнеко-колонковое бурение	Серийные	Шнек
	Вибробурение	»	Штамп или коронка
	Грунтонос забивного действия	»	Штамп

Характеристика 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	
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 керна всухую	—	—	Горные породы I—IV категорий
То же	—	—	То же
»	—	—	Глина, пески супеси,

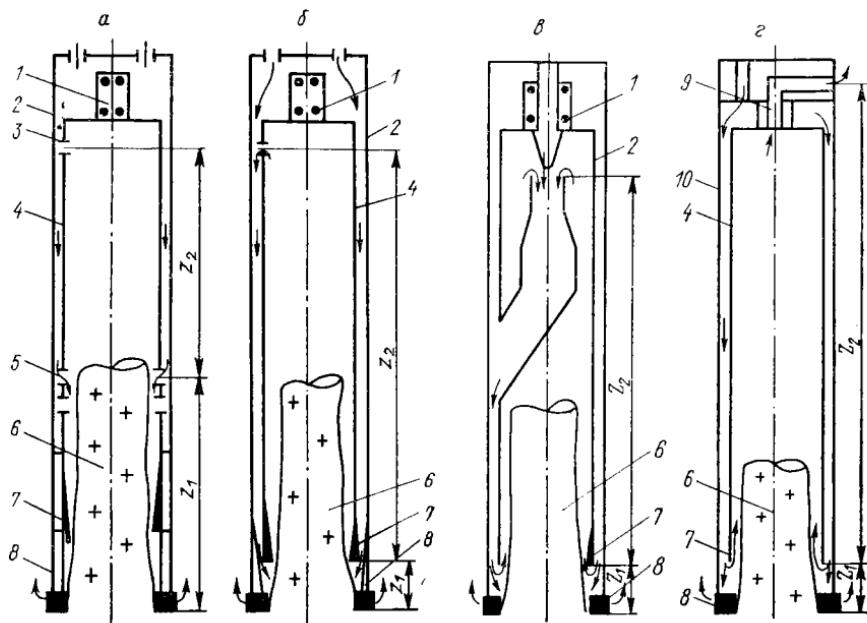


Рис. 6-2. Принципиальная схема работы технических средств отбора керна с комбинированным типом промывки (двойные колонковые трубы).

a, б — без движения промывочной жидкости в керноприемной трубе; *в* — с обратной всасывающей промывкой в керноприемной трубе; *г* — с обратной нагнетательной промывкой в керноприемной трубе.

1 — подшипниковый узел; 2 — наружная труба; 3 — сливное отверстие; 4 — керноприемная труба; 5 — отверстия для прохода промывочной жидкости; 6 — керн; 7 — кернорвательное устройство; 8 — коронка; 9 — верхний переходник.

В схеме промывки труб ТДВ-1 и ТДН-1 конструкции ВИТР, приведенной на рис. 6-2, *а*, контакт прямой промывки с керном наступает выше кернорвательного устройства, поэтому участок Z_1 значителен по длине (200—300 мм), а показатели бурения трубами близки к показателям бурения одинарными колонковыми снарядами.

В схеме промывки труб ТДН-2 и в снарядах ССК конструкции ВИТР и КССК конструкции СКБ, приведенной на рис. 6-2, *б*, контакт керна с прямым потоком жидкости происходит ниже рвательного устройства, поэтому расстояние Z_1 уменьшено и составляет 20—40 мм, что позволяет успешно бурить этими снарядами в трещиноватых горных породах.

На схеме (рис. 6-2, *в*) изображены средства с обратной всасывающей промывкой в керноприемной трубе, создаваемой эжекторным насосом. К этим средствам относятся трубы ДЭС (ЦНИГРИ), «Тугнуй» (ПГО «Бурятгеология»), ЭКСТ (КазИМС).

Ниже рвательного устройства в этих снарядах происходит

разделение потока промывочной жидкости и часть жидкости засасывается в керноприемную трубу, увлекая за собой шлам и керн. Но всасывающая промывка обладает недостаточным напором, поэтому при бурении в мягких и раздробленных горных породах с ростом гидравлических сопротивлений циркуляция жидкости прекращается.

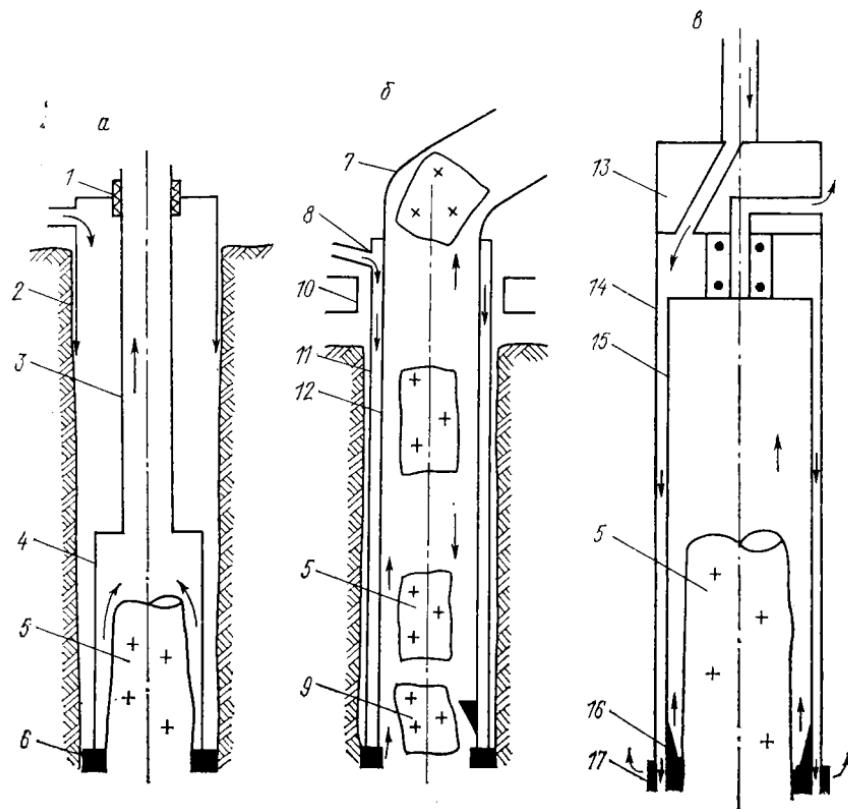
На схеме (рис. 6-2, 2) изображены технические средства с обратной нагнетательной промывкой в керноприемной трубе типа ТДН-УТ конструкции ВИТР. Напорное движение жидкости в них создается за счет повышения гидравлических сопротивлений в кольцевом зазоре и между стенками скважины и центратором, выполняющим роль пакера. Напорный поток лучше эжектируемого обеспечивает вход керна в керноприемную трубу, так как более эффективно поддерживает шлам и частицы керна во взвешенном состоянии. Экспериментальные исследования показали, что в момент забуривания около 70 % промывочной жидкости проходит через керноприемную трубу. По мере наполнения керноприемной трубы керном, вызывающим рост гидравлических сопротивлений, обратный поток ослабевает.

Породоразрушающий инструмент, используемый в этом комплексе средств, отличается большим разнообразием. В группе алмазных коронок применяются серийные для труб ТДВ-1 и ТДН-1, специальные коронки для труб ТДН-2 и ТДН-УТ, а в трубах ТДН-К1 Криворожской геологоразведочной экспедиции — дополнительно обработанные серийные и специальные коронки. В группе твердосплавных коронок в основном используются утолщенные, различных конфигураций, изготовленные в местных мастерских на базе серийных коронок.

Кернорвательные устройства у большинства средств открытого типа — пружинные. У некоторых типов труб для бурения в слабых горных породах используются лепестковые кернорватели, представляющие собой набор проволочек, расположенных по кольцу, или набор стальных пластинок. В трубах ДКН-59 ПГО «Севзапгеология» кернорвательное устройство отсутствует и удержание керна производится его затиркой «всухую».

В двойных колонковых трубах важным конструктивным элементом является узел подвески керноприемной трубы, представляющий собой специальный переходник со сверлениями для прохода промывочной жидкости и деталями для крепления подшипникового узла, если керноприемная труба не вращается. В основном в практике работ используются невращающиеся керноприемные трубы, за исключением труб ТДВ-1.

Большинство подшипниковых узлов — закрытого типа. В узлах открытого типа иногда используется шаровая пята. Из дополнительных устройств в снарядах ССК применяются сигна-



лизаторы самозаклинивания. В эжекторных снарядах используются шламовые трубы закрытого типа для сбора шлама как дополнительного источника геологической информации.

Средства для отбора керна при бурении с обратной промывкой (рис. 6-3) имеют ряд существенных преимуществ перед прямой и комбинированной промывками, которые заключаются в следующем:

- при движении жидкости вверх от забоя скважины шлам и кусочки керна поддерживаются во взвешенном состоянии и стремятся подняться вверх, уменьшая вероятность самозаклинивания керна;

- возможен поинтервальный отбор шлама, что служит дополнительным источником информации о горных породах;

- в ряде случаев более эффективно очищается забой скважины от выбуренной породы;

- возможно обеспечение гидротранспорта керна на поверхность.

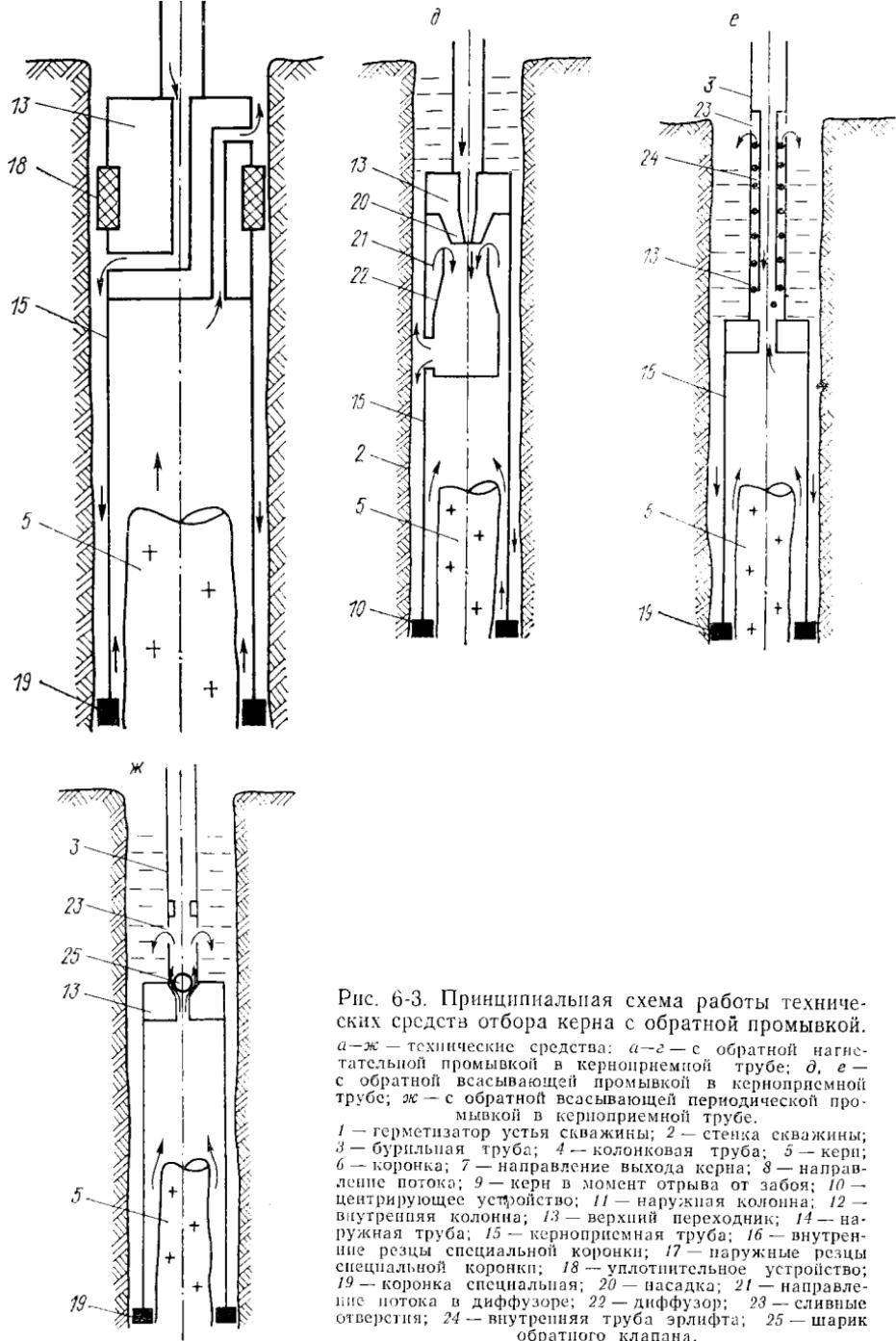


Рис. 6-3. Принципиальная схема работы технических средств отбора керна с обратной промывкой.
 а-ж — технические средства: а-е — с обратной нагнетательной промывкой в керноприемной трубе; д, е — с обратной всасывающей промывкой в керноприемной трубе; ж — с обратной всасывающей периодической промывкой в керноприемной трубе.

1 — герметизатор устья скважины; 2 — стена скважины; 3 — бурильная труба; 4 — колонковая труба; 5 — керн; 6 — коронка; 7 — направление выхода керна; 8 — направление потока; 9 — керн в момент отрыва от забоя; 10 — центрирующее устройство; 11 — наружная колонна; 12 — внутренняя колонна; 13 — верхний переходник; 14 — наружная труба; 15 — керноприемная труба; 16 — внутренние резцы специальной коронки; 17 — наружные резцы специальной коронки; 18 — уплотнительное устройство; 19 — коронка специальная; 20 — насадка; 21 — направление потока в диффузоре; 22 — диффузор; 23 — сливные отверстия; 24 — внутренняя труба эрлифта; 25 — шарик обратного клапана.

В технических средствах отбора керна с герметизацией устья скважины используется обратная нагнетательная промывка. Бурение происходит с двойной колонной бурильных труб и гидротранспортом керна на поверхность, а также одинарными и двойными пакерными снарядами КПБ, КПП (ПГО «Уралгеология»), ТДН-0 (ВИТР), ДКНТ-ВП (КазИМС) и др.

При бурении с герметизатором устья скважины типа УГ конструкции ВИТР (рис. 6-3, а) промывочная жидкость закачивается в скважину через специальное устройство, закрепленное на обсадной колонне, и поднимается на поверхность через коронку, колонковую трубу и буровой снаряд. По сравнению с прямой промывкой при бурении этим способом выход керна значительно увеличивается, но фильтрация жидкости в пласты горных пород ограничивает возможности применения метода.

При бурении с двойной колонной бурильных труб и гидротранспортом керна на поверхность (рис. 6-3, б) промывочная жидкость закачивается в скважину по кольцевому зазору между трубами, что предохраняет от фильтрации жидкости в пласт при росте гидравлических сопротивлений. Вынос керна на поверхность осуществляется по внутренней колонне бурильных труб, имеющих постоянное сечение. Выше коронки располагается кернолом.

В одинарном пакерном снаряде (рис. 6-3, в) по промывочным отверстиям в пакерном переходнике жидкость попадает в скважину, и двигаясь по кольцевому зазору поступает в коронку и керноприемную трубу, откуда дренируется в скважину выше пакера. Так как пакер расположен значительно выше забоя и представляет собой обычно упругий резиновый элемент, он быстро изнашивается при вращении снаряда и жидкость может не доходить до забоя. То же происходит при бурении кавернозных горных пород.

В двойных пакерных снарядах (рис. 6-3, г) жидкость по кольцевому зазору между трубами и по промывочным отверстиям в коронке попадает непосредственно на забой скважины, образуя обратную промывку по всей длине керна. Роль пакера обычно выполняет центратор, расположенный выше коронки.

Дополнительным средством защиты керна от разрушающих факторов служит невращающаяся керноприемная труба, предохраняющая керн от истирания и вибраций.

Обратная всасывающая промывка обеспечивается эжекторными и эрлифтными насосами (рис. 6-3, д, е). Принцип их работы общезвестен, но важно отметить тот факт, что напор промывочной жидкости во всасывающих магистралях ограничен высотой всасывания и понижается с уменьшением расхода промывочной жидкости при росте гидравлических сопротивлений. Это благоприятно сказывается на условия кернообразования, но при этом уменьшается эффективность очистки забоя

от шлама и снижаются технико-экономические показатели колонкового бурения.

Эжекторные снаряды могут быть одинарными [ОЭС (ЦНИГРИ), ЭКС-1 (Ленинградское отделение института «Гидропроект»), ОЭТ (ПГО «Донбассгеология»), УКН (ПГО «Севукргеология»)] и двойными [ДЭКС (ПГО «Центргеология»), ТЭД (ПГО «Уралгеология»), СЭ (ПГО «Востказгеология»)]. Выход жидкости в скважину у одинарных эжекторных снарядов расположен выше колонковой трубы, поэтому не исключено засорение керна посторонним материалом со стенок скважины. В двойных эжекторных снарядах выход жидкости в скважину расположен в призабойной зоне, поэтому их использование предпочтительнее. С другой стороны, двойные трубы этой группы обычно имеют вращающуюся внутреннюю трубу и две коронки, что при алмазном бурении ведет к увеличению расхода алмазов и снижает механическую скорость бурения.

Особо следует отметить одинарный эжекторный снаряд типа УКН (ПГО «Севукргеология»), который в своем составе имеет гидровибратор, возбуждающий продольные колебания колонны, что препятствует самоподклиниваниям керна.

Снаряды с эрлифтным насосом типа КОЭН конструкции ВИТР позволяют использовать для бурения скважинные воды, что является важным фактором для засушливых районов.

Обратная всасывающая периодическая промывка создается при безнасосном бурении и при применении погружных поршневых насосов с механическим, гидравлическим или пневматическим приводами. Из этой группы средств отбора керна широкое распространение получило безнасосное бурение (рис. 6-3, ж) из-за простоты его устройства. Поскольку обратная промывка создается за счет расхаживания снаряда, а керн выполняет роль поршня, существенное значение имеет диаметр бурения. При малых диаметрах керн быстро затирается «всухую» и отрывается при расхаживании от забоя скважины вместе со снарядом, не создавая обратной промывки. При больших диаметрах бурения отрыв керна от забоя скважины происходит реже и обратная промывка более стабильна. По данным ПГО «Оренбурггеология» оптимальными для безнасосного бурения являются диаметры 112 и 132 мм.

Не вышли из стадии эксперимента ввиду сложности устройства и нестабильности в работе средства с погружными поршневыми насосами (снаряды В. В. Большакова, А. А. Гребенюка, Г. И. Неудачина и др.).

Средства для отбора керна при бурении без промывки в керноприемной части снаряда включают в себя конструкции снарядов, в которых керн имеет контакт с промывочной жидкостью только на забое скважины — это двойные трубы ТДН-4

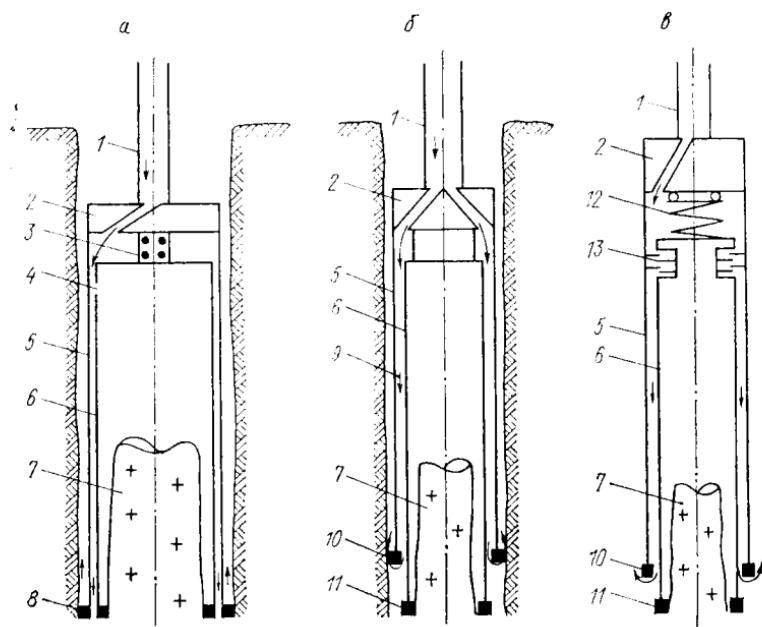


Рис. 6-4. Принципиальная схема работы технических средств отбора керна без движения промывочной жидкости в керноприемной части снаряда.

a — движение промывочной жидкости в межтрубном пространстве; *б* — с выходом ее под торец основной коронки; *в* — с регулируемым сливом.

1 — бурильная труба; 2 — верхний переходник; 3 — регулировочное устройство; 4 — сливное отверстие; 5 — наружная труба; 6 — керноприемная труба; 7 — керн; 8 — коронка; 9 — направление потока; 10 — основная коронка; 11 — формирующая коронка (штамп); 12 — регулировочная пружина; 13 — регулируемые сливные отверстия.

(ВИТР), ДТА-2 (конструкции С. Е. Алексеенко), «Донбасс-НИЛ-I, II, III», а также средства и способы, где промывочная жидкость вообще не используется (буровые ложки, змеевики, виброрурение, шнеко-колонковое бурение, бурение грунтоносами забивного действия).

У труб ТДН-4 выход жидкости в скважину (рис. 6-4, *а*) происходит по кольцевому зазору между трубами и промывочными отверстиями в коронке. Если керн не разрушается непосредственно на забое скважины, то в керноприемной трубе он огражден от действия промывочной жидкости и вибраций снаряда невращающейся керноприемной трубой.

Для более слабых и рыхлых горных пород используются трубы с опережающей внутренней трубой (рис. 6-4, *б*). Опережение внутренней коронки относительно наружной регулируется заранее с таким расчетом, чтобы промывочная жидкость не разрушала керн и в то же время очищала забой от шлама. В перемежающихся по механическим свойствам горных поро-

дах указанные конструкции снарядов работают неудовлетворительно, в связи с чем были разработаны самонастраивающиеся колонковые снаряды типа «ДонбассНИЛ» (рис. 6-4, в).

В конструкции этих снарядов керноприемная труба через фрикцион и пружину связана с верхним переходником. Такие снаряды могут работать как без вращения, так и с вращением керноприемной трубы. При разбуривании слабых прослоев горных пород коронка не вращается. При встрече твердых прослоев пружина сжимается и в работу вступает фрикционная муфта, передавая крутящий момент керноприемной трубе.

Снаряды без использования промывочной жидкости в силу специфики их конструкции применяются исключительно в мягких породах I—IV категорий по буримости.

ВЫБОР СПЕЦИАЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ОТБОРА КЕРНА ПРИ БУРЕНИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН

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 которых по-своему влияет на выход керна. Так, с уменьшением прочности горных пород и увеличением степени их дезинтеграции сохранение керна этих пород требует применения определенных защитных мер. Эти меры состоят в уменьшении степени воздействия на керн разрушающих факторов, вызванных наличием промывочной жидкости и вращением бурового снаряда. Изменяя систему промывки, которая для каждого технического 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 и предохранить его от действия поперечных вибраций.

Выбор технических средств отбора керна в первую очередь диктуется типом горной породы и ее физико-механическими, структурными и текстурными особенностями. Кроме того, керн необходим для минералогических, петрографических, структурных, петрохимических и других видов геологических исследований. Достоверность этой информации определяется кондиционным выходом керна, принимаемым конкретно для каждого типа месторождений (золоторудного, железорудного, бокситового, угольного и т. п.) и для вида геологических исследований (съемка, поиски, разведка, инженерно-геологические работы и

т. п.). Следовательно, выбор средств отбора керна зависит и от поставленных геологических задач, и от кондиций по выходу керна на данных месторождениях.

С точки зрения конструктивных особенностей средств отбора керна на их выбор будут оказывать влияние следующие основные положения: степень защиты керна от разрушающих факторов, простота и надежность устройства и его эксплуатации, серийность выпускаемых средств и технико-экономические показатели бурения данными средствами. Следует учитывать, что чем выше степень защиты керна от разрушающих факторов, тем более сложно само средство, поэтому его использование может быть рациональным только в специфических условиях, для которых оно предназначено. Например, достаточно сложная по конструкции труба ДТА-2 хорошо зарекомендовала себя на угольных месторождениях, но в других условиях (силикатно-никелевые и бокситовые месторождения, опоки, пески) кондиционный выход керна получают, используя более простые средства отбора керна.

Простота конструкции имеет значение при выборе средств отбора керна, имеющих одинаковые области применения и используемых в одинаковых горно-геологических условиях. С другой стороны, многие местные типы технических средств отбора керна повторяют конструкции серийно выпускаемого инструмента. Так конструкции труб ТДН-К-1 (ПГО «Южукргеология»), ДК-57-Б (ПГО «Запсибгеология») аналогичны серийным трубам ТДН-2 (ВИТР), или серийные эжекторные снаряды ОЭС (ЦНИГРИ) повторяются в местных конструкциях ПГО «Красноярскгеология», «Донбассгеология» и др.

Из вышеизложенного следует, что выбор специальных технических средств для отбора керна должен осуществляться 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.

1. При выходе керна 40—60 % за рейс возможно:

- установление наличия полезного ископаемого;
- получение информации о вмещающих породах;
- оконтуривание границ пластовых месторождений и т. д.

2. При выходе 60—80 % керна за рейс возможно:

- получение полной геологической информации согласно требованиям ГКЗ (табл. 6-4) для большинства гидротермальных, магматических и осадочных месторождений.

Требования к выходу керна при бурении рудных тел

Типы месторождений	Степень изменчивости полезных компонентов	Коэффициент вариации содержания полезного ископаемого, %	Выход керна, %
Гидротермальные и контактовые: медь, олово, молибден и т. д.	Весьма неравномерные и неравномерные	40—150	75—80
Магматические: медно-никелевые, титано-циобновые и т. д.	Равномерные и весьма равномерные	<40	70
Метаморфические: железные руды КМА, Кривого Рога, кварциты и т. д.	То же	<40	70
Осадочные: угольные, горючие сланцы, стройматериалы, каменная и калийная соли, железные и марганцевые руды	»	<40	70

3. При выходе керна 80—100 % за рейс возможно:

— получение полной геологической информации при разведке на твердые полезные ископаемые любого генезиса.

4. При выходе керна 98—100 % ненарушенной структуры за рейс возможно:

— проведение инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий в весьма слабых породах;

— определение элементов залегания горных пород и т. д.

После уточнения основного требования по получению необходимого уровня геологической информативности выбор технических средств осуществляется по геолого-техническим критериям (табл. 6-5).

Субъективные управляемые критерии применяются только при оценке местных конструкций технических средств в том случае, если данные конструкции удовлетворяют первым разделам критериев.

Удельная кусковатость керна K_{ud} и объединенный показатель ρ_m определяются по опорной матрице классификации горных пород по трудности отбора керна.

Оценка степени защиты керна от разрушающего воздействия промывки, вращения и вибрации бурового снаряда производится по ранговой шкале защиты (табл. 6-6).

**Геолого-технические критерии выбора специальных
технических средств для отбора керна**

Группа	Критерий	Оценка
I. Объективные неуправляемые критерии	Трещиноватость горных пород	Удельная кусковатость керна $K_{уд}$, шт./м
	Динамическая прочность и абразивность	Объединенный показатель ρ_m категорий пород по буримости
	Дополнительные геологические задачи (отбор шлама, газа и т. д.)	Вид полезного ископаемого и стадия разведки
II. Объективные управляемые критерии	Степень защиты керна от разрушающего воздействия промывочной жидкости и вибрации	Степень защиты (слабая, достаточная, полная)
	Конструктивные особенности породоразрушающего инструмента	Возможность применения с тем или иным колонковым спарядом
	Степень надежности получения, захвата и удержания керна	Процент потери керна рейсовой углубки
III. Субъективные управляемые критерии	Серийность производства технических средств	Серийные, малая серия, опытные образцы, макеты
	Технологичность применения	Время сборки и регулировки, мин
	Простота эксплуатации и ремонта	Качественная оценка

Конструктивные особенности породоразрушающего инструмента определяются физико-механическими свойствами пород:

— твердосплавный породоразрушающий инструмент используется при бурении горных пород I—VI категорий по буримости;

— алмазные коронки используются при бурении горных пород VII—XII категорий по буримости.

Экономическая эффективность применения специальных технических средств оценивается в том случае, если согласно геолого-техническим требованиям несколько технических средств или методов позволяют решить поставленную геологическую задачу. Выбор специального технического средства производится

Таблица 6-6

Защита керна от разрушающих факторов

Ранговый порядок	Тип рвательного устройства	Промывка		Суммарное воздействие	
		Ранговый порядок	Тип рвательного устройства	Ранговый порядок	Тип рвательного устройства
1	Открытого типа (контакт с керном в процессе бурения)	1	Прямая	1	Одинарная
		2	Комбинированная	2	Двойная врачаю-щаяся
		3	Обратная	3	Двойная невра-щающаяся
2	Закрытого типа (без контакта с керном в процессе бурения)	4	Без промывки	4	Двойная невра-щающаяся с керно-приемной гиль-зой

дится по минимальной стоимости 1 м бурения. Оценка стоимости 1 м бурения производится по расчетам экономической эффективности применения данного технического средства. Для определения оценки эффективности применения специальных технических средств с алмазным породоразрушающим инструментом расчет производится по упрощенной формуле

$$C_m = [(1/v) + T_{всп}/l] [(C_{см}/t) + Kqv], \quad (6-1)$$

где C_m — стоимость 1 м бурения, руб.; v — механическая скорость бурения, м/ч; l — углубка за рейс, м; $C_{см}$ — стоимость 1 ст.-смены, руб.; t — продолжительность смены, ч; $T_{всп}$ — время вспомогательных операций, отнесенное к одному рейсу, ч; q — удельный расход алмазов, кар/м; K — стоимость 1 кар алмазов в изделии, руб.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОЙ РАБОТЫ СПЕЦИАЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ОТБОРА КЕРНА

. Одним из основных условий кондиционного выхода керна при бурении скважин является обеспечение надежности работы технических средств. При этом следует различать два вида надежности работы специальных технических средств для отбора керна: техническую и технологическую.

Техническая надежность определяется надежностью и долговечностью работы отдельных элементов и всей конструкции специального технического средства в целом и может быть определена методами расчетов надежности машин и приборов.

Технологическая надежность работы технических средств определяется вероятностью получения кондиционного выхода керна при применении данного технического средства при бурении в единичном рейсе или, в общем виде, технологическая надежность работы технических средств может определяться процентом рейсов углубок специальным техническим средством, при которых обеспечивается кондиционный выход керна.

Таким образом, технологическая надежность работы технических средств может быть оценена соотношением

$$P = (n_k/n) \cdot 100\%, \quad (6-2)$$

где P — вероятность получения кондиционного выхода керна в единичном рейсе, %; n_k — число рейсов с кондиционным выходом керна; n — общее число рейсов.

Процент рейсовых углубок с кондиционным выходом керна при бурении, особенно глубоких (свыше 1500 м) скважин, должен быть не ниже 95 %, что в общем виде соответствует вероятности событий, принятой для расчетов при геологоразведочном бурении.

Для расчетов технологической надежности уровень кондиционного выхода керна принят 70 %, в связи с тем что данный уровень установлен инструкциями ГКЗ СССР при разведке большинства месторождений полезных ископаемых. Важным критерием технологической надежности работы специальных технических средств является также коэффициент технологического использования технических средств.

При бурении геологоразведочных скважин углубка за рейс должна в общем случае достаточно близко соответствовать длине керноприемной трубы. Углубка за рейс определяется как геологическими условиями (степень трещиноватости пород, условия залегания и т. д.), так и технико-технологическими параметрами двойных труб и режимов бурения.

Коэффициент технологического использования специальных технических средств может быть оценен соотношением

$$\lambda = l_p / L_{k.t}, \quad (6-3)$$

где l_p — углубка за рейс, м; $L_{k.t}$ — длина керноприемной трубы, м.

Оценку коэффициента λ следует производить по шкале, приведенной в табл. 6-7. Коэффициент λ не должен превышать значение 0,9—0,95, так как при превышении указанного значения в значительном числе рейсов углубка за рейс искусственно будет ограничиваться длиной керноприемной трубы, что совершило недопустимо при бурении глубоких (свыше 1500 м) скважин.

Шкала оценки коэффициента технологического использования специальных технических средств λ

Значение коэффициента	Степень использования
0—0,30	Низкая
0,31—0,60	Удовлетворительная
0,61—0,90	Высокая

Коэффициент технологического использования специальных технических средств позволяет:

— при различных длинах керноприемной трубы оценить степень соответствия длины керноприемной трубы конкретным геолого-техническим условиям бурения;

— при одинаковых длинах керноприемной трубы оценить степень защиты керна от вибрационных нагрузок и воздействия промывочной жидкости, степень чистоты внутренней поверхности керноприемной трубы и, в общем виде, уровень конструкционных решений и технологических параметров применения конкретного технического средства, направленных на снижение уровня условий, способствующих возникновению причин прекращения рейса (самозаклинивание керна, расклинивание в кернорвателе и т. д.).

Технологическая надежность отработки специальных технических средств (двойных колонковых труб) может быть оценена по результатам их отработки в производственных условиях геологоразведочных организаций двумя основными показателями: собственно технологической надежностью и коэффициентом технологического использования технических средств.

В качестве примера можно использовать результаты оценки применяющихся в Криворожском железорудном бассейне двойных колонковых труб (табл. 6-8). Оценка двойных колонковых труб произведена для условий бурения скважин на глубинах выше 1500 м при перебуривании продуктивных горизонтов (рыхлые руды).

Результаты оценки двойных колонковых труб, применявшихся при перебуривании рудных зон в Криворожском железорудном бассейне, позволяют сделать следующие выводы:

— для условий глубокого бурения скважин в Криворожском железорудном бассейне коронками диаметром 59 мм наиболее технологически надежна и работоспособна двойная колонковая труба типа ТДН-ССК-59 конструкции ВИТР;

— при бурении глубоких (до 3000 м) скважин коронками диаметром 76 мм в Криворожском железорудном бассейне сле-

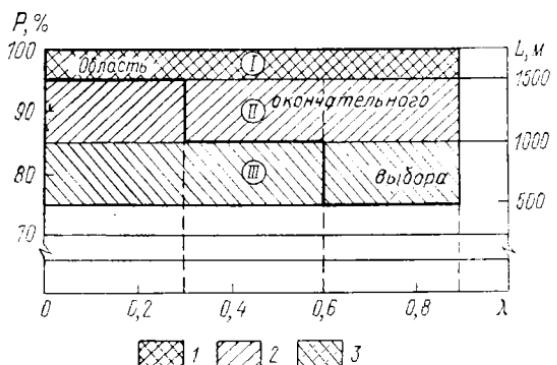


Рис. 6-5. Диаграмма оценки технологической надежности работы специальных технических средств отбора керна.
 1—3 — зоны: 1 — абсолютной надежности; 2 — надежной работы; 3 — пониженной надежности.

дует применять двойные колонковые трубы типа ТДН-2 и ТДН-РК конструкции ВИТР.

Окончательный выбор специальных технических средств для бурения глубоких горизонтов скважин следует осуществлять по комплексу критерииев выбора [45] с учетом технологической надежности их работы.

Оперативную оценку технологической надежности работы специальных технических средств можно провести графически по диаграмме оценки надежности, приведенной на рис. 6-5. На диаграмме оценки технологической надежности увязаны следующие показатели: технологическая надежность взятия керна в единичном рейсе P ; коэффициент технологического использо-

Таблица 6-8

Оценка двойных колонковых труб (Криворожский железорудный бассейн)

Диаметр бурения, мм	Показатель	ТДН-ССК	ТДН-К	ТДН-2	ТДН-УТ	ТДН-0	ТДН-РК	«Пастернак»
59	Длина керноприемной трубы, м Технологическая надежность, % Коэффициент λ	3,5 95 0,68	2,2 45 0,32	3,7 82 0,37	2,5 82 0,38	— — —	— — —	2,2 95 0,21
76	Длина керноприемной трубы, м Технологическая надежность, % Коэффициент λ	— — —	3,2 95 0,36	2,0 100 0,65	2,0 30 0,50	4,4 100 0,22	1,5 94 0,67	1,0 29 0,40

зования специальных технических средств λ ; глубина скважины L . Оценка надежности по диаграмме для конкретного технического средства производится на основании расчетных показателей P и λ . При этом технологическая надежность P и коэффициент технологического использования λ должны находиться в области окончательного выбора технического средства. Все значения P и λ , выпадающие из указанной зоны, отбраковываются, и техническое средство с данными показателями не рекомендуется к применению.

КЕРНОРВАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Большое значение в процессе получения кондиционного выхода керна при бурении с использованием любых технических средств его отбора (комплекс ССК, двойные колонковые снаряды, одинарные колонковые трубы и т. д.) имеют кернорвательные устройства. В настоящем разделе приводится краткая характеристика наиболее часто применяемых при бурении типов кернорвательных устройств.

Кернорватели предназначены для срыва и удержания керна при бурении геологоразведочных скважин в монолитных и слаботрещиноватых породах. Они используются при бурении с одинарными и двойными колонковыми трубами алмазными и твердосплавными коронками.

Кернорвательные устройства для срыва и удержания керна должны обеспечивать:

- беспрепятственное поступление керна в керноприменную трубу;
- свободный доступ промывочной жидкости к забою скважины;
- беспрепятственное формирование керна буровой коронкой;
- надежный срыв и удержание керна при подъеме инструмента.

Простейшими способами срыва и удержания керна является затирка керна «всухую» и заклинивание керна заклиночным материалом (частицы стекла, фарфора), подаваемого на забой промывочной жидкостью. Указанные способы заклиники керна не всегда приносят удовлетворительные результаты и часто вызывают осложнения при бурении, поэтому в практике буровых работ наибольшее распространение получили механические рвательные устройства.

Рвательные устройства разделяются на две группы: открытого типа — рвательный элемент не защищен от контакта с керном (рис. 6-6, а, б) и закрытого типа — рвательный элемент защищен от контакта с керном (рис. 6-6, в). Каждая группа рвательных устройств разделена на две подгруппы: рвательные

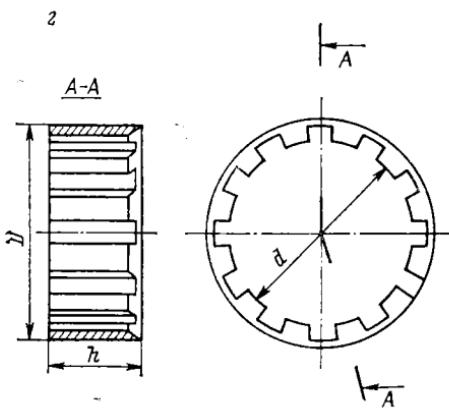
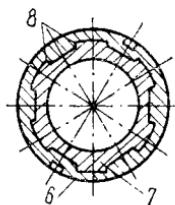
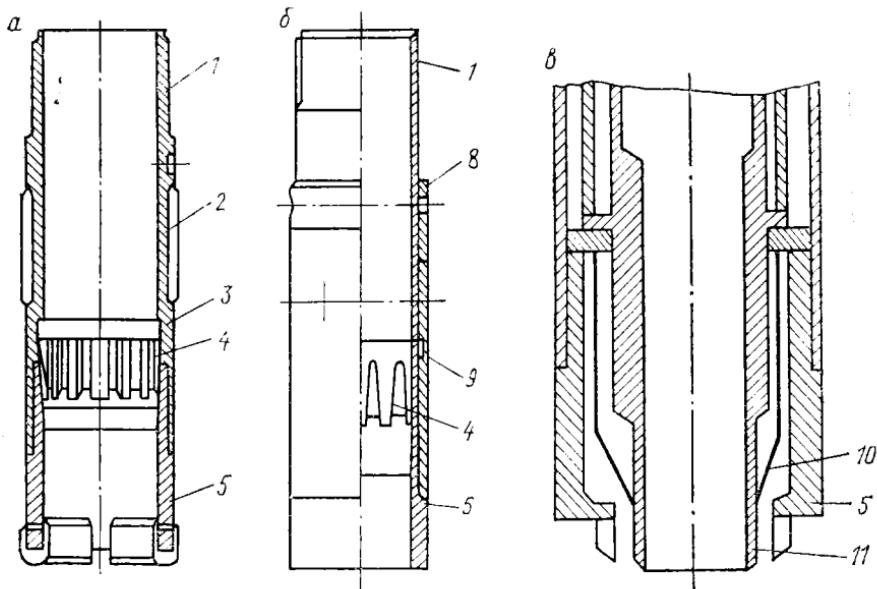


Рис. 6-6. Типы кернорвательных устройств.

α-γ — кернорватели; *α* — конструкция ВИТР; *β* — со срезаемым элементом; *γ* — закрытого типа (труба ДТА-2); *ε* — кернорвательное кольцо для стандартных алмазных коронок.

1 — резьбовое соединение; 2 — корпус рвателья; 3 — конусная выточка с упорным буртом; 4 — рвательное кольцо; 5 — коронка; 6 — шлицевой элемент; 7 — внутренний корпус; 8 — наружный корпус; 9 — срезаемое кольцо; 10 — пружинный пакет; 11 — коронка-штамп.

устройства свободного действия, где рвательный элемент захватывает керн при отрыве снаряда от забоя скважины, и рвательное устройство принудительного действия, где рвательный элемент захватывает керн по сигналу бурильщика в результате включения механического или гидравлического привода.

При бурении трещиноватых и слабых горных пород рекомендуется использовать рвательные элементы, выполненные в виде лепестков, рычажков, плашек. В монолитных и слаботрещиноватых горных породах в качестве рвательных элементов применяются разрезные рвательные кольца различных конструкций. Характеристика наиболее употребляемых областей их применения приводятся в табл. 6-9.

Кернорватель для бурения с одинарной колонковой трубой и с алмазной коронкой (рис. 6-6, а) состоит из рвательного кольца 4 и корпуса 2, имеющего резьбовое соединение 1. В корпусе имеется внутренняя коническая проточка, которая является продолжением конической проточки на внутренней поверхности алмазной коронки 5. Коническая проточка корпуса заканчивается упорным буртом 3, в который упирается кольцо в процессе бурения. В качестве корпуса используется алмазный расширител или гладкоствольный корпус без армировки.

Кернорвательное кольцо для твердосплавных коронок конструкции СКБ ВПО «Союзгеотехника» имеет сквозные окна, снижающие его жесткость, внутренние выступы кольца армированы пластинами твердого сплава. Корпус имеет на наружной поверхности два центрирующих кольца с наплавками релита.

Кернорватели работают следующим образом. В начале рейса при бурении кольцо торцом керна поднимается по конической проточке до упора в буртик корпуса. Далее керн входит в кольцо, расширяет его и проходит через него в колонковую трубу. Таким образом кольцо плотно обжимает керн и остается при бурении неподвижным. При подъеме снаряда корпус перемещается вверх, а кольцо остается на месте, заклиниваясь между керном и конической поверхностью коронки, сжимается, что приводит к излому керна. Безотказное заклинивание кольца обеспечивается наличием при движении вверх большей силы трения между ним и керном по сравнению с силой трения между корпусом и наружной поверхностью кольца. Для этого наружная поверхность кольца и поверхность конической расточки корпуса должны иметь высокую степень чистоты обработки.

Техническая характеристика кернорвателей приведена в табл. 6-10 и 6-11, а основные размеры рвательных колец для двойных труб и наборов ССК даны в табл. 6-12.

Применение кернорвательных устройств позволяет значительно надежнее и быстрее производить заклинивание и удер-

Таблица 6-9

Характеристика кернорвательных устройств

Система отрыва и удержания керна	Кернорвательные устройства		Область применения
Без кернорвательных устройств			Твердоисплавное бурение в пластичных и рыхлых горных породах I—VI категорий по буримости
		Заклинивание керна твердыми частичками (фарфор, стекло), транспортируемыми с поверхности на забой скважины промывочной жидкостью	Твердоисплавное и алмазное бурение в молитниковых горных породах V—XII категорий по буримости
С кернорвательным устройством	Открытого типа	Свободного действия	<p>Рычажковый Н. А. Чкалова; лепестковый В. Н. Комарова; колыцевой с поперечными пружинами И. Е. Калинина; типа «плаук»</p> <p>Лепестковый конструкции ВИТР для труб ТДН-0, ТДН-4</p>
			<p>Твердоисплавное бурение в пластичных, рыхлых, мягких и раздробленных горных породах III—VI категорий по буримости</p> <p>Алмазное бурение в трещиноватых горных породах VI—XI категорий по буримости</p>
			<p>С пружинным рвательным кольцом (ВИТР); с рвательным кольцом, имеющим продольные пазы (СКБ Минт geo СССР); со скобьями элементами защелкиивания (ЦНИГРИ)</p>
	Прицедительного действия		<p>Со срезаемым элементом и пружинным рвательном А. И. Шубного; с отжимными лепестками А. И. Шубного</p>
Закрытого типа	Свободного действия		<p>Лепестковый в двойных колонковых трубах типа ДГА-2 С. Е. Алексеенко</p>
			<p>Твердоисплавное бурение в молибдитных и слабогетрениноватых горных породах V—IX категорий по буримости</p> <p>Твердоисплавное бурение сильногетренированных горных пород III—VII категорий по буримости</p>

Таблица 6-10

**Техническая характеристика кернорвателей типа К-46, К-59
и К-76 конструкции ВИТР для одинарных колонковых труб
и серийных алмазных коронок**

Показатель	К-46	К-59	К-76
Диаметр алмазной коронки, мм:			
наружный	46,0	59,0	76,0
внутренний	31,0	42,0	58,0
Диаметр керна, захватываемого рвательным кольцом, мм:			
максимальный	31,8	42,8	58,9
минимальный	30,4	41,4	57,2
Наружный диаметр кернорвательного кольца по толстому торцу D , мм	36,4	48,0	64,5
Внутренний диаметр кольца d , мм	30,4	41,0	57,2
Высота h , мм	25	25	30
Длина кориуса, мм	158	158	168
Конусность расточки корпуса	1 : 10	1 : 10	1 : 10
Присоединительная резьба на корпусе (наружная и внутренняя) по ГОСТ 6238—77 диаметром, мм	39	52	68
Масса кернорвателя, кг	0,71	1,12	1,68

жение монолитного и слаботрещиноватого керна, чем при использовании заклиночного материала (отрезки проволоки, кусочки фарфора и др.). В сильнотрещиноватых и разрушенных породах применение кольцевых кернорвателей не рекомендуется, так как приводит к частым самозаклиниваниям керна в кернорвателе.

Таблица 6-11

**Техническая характеристика кернорвателей типа БИ 209
конструкции СКБ ВПО «Союзгеотехника» для одинарных
колонковых труб и серийных твердосплавных коронок**

Показатель	БИ 209—281	БИ 209—255	БИ 209—256	БИ 209—257
Наружный диаметр коронки, мм	59	76	93	112
Наружный диаметр кориуса кернорваталя, мм	57	73	90	109
Длина корпуса, мм	150	190	210	210
Диаметр срываемого керна, мм:				
минимальный	41	53	68	88
максимальный	45	58	74	93
Наружный диаметр кернорвательного кольца, мм	—	57	72	91
Высота кольца, мм	—	40	45	50

Таблица 6-12

**Размеры кернорвательных колец двойных колонковых
труб и снарядов ССК конструкции ВИТР, мм**

Тип колонкового снаряда	Диаметр алмазной коронки (наружный/внутренний)	<i>D</i>	<i>d</i>	<i>h</i>
ССК-46	46/24	27	23,2	20
ССК-79	59/35,4	39,2	34,6	25
ССК-76	76/48	52,0	47,4	25
ТДН-46-УТ	46/31	33,9	30,4	20
ТДН-59-УТ	59/42	46,4	41,4	25
ТДН-76-УТ	76/52	56,1	51,4	25
ТДН-46-2	46/28	31,0	27,4	20
ТДН-59-2	59/38	42,0	37,4	25
ТДН-76-2	76/52	56,1	51,4	25
ТДН-59-0	59/34,5	41,3	34,0	25
ТДН-76-0	76/46	51,0	45,4	25
ТДН-93-0/2	93/66	73,0	65,0	35

П р и м е ч а н и е. Конусность расточки корпуса 1:10.

**УСЛОВИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОГО СРЫВА
И УДЕРЖАНИЯ КЕРНА В КОЛОНКОВОЙ ТРУБЕ
ПРИ ПОДЪЕМЕ БУРОВОГО СНАРЯДА НА ПОВЕРХНОСТЬ**

При выборе технических средств существенно важную роль играет надежность захвата и удержания керна в керноприемной трубе. Надежность захвата и удержания керна при подъеме в значительной степени зависит от способа заклинивания керна, в колонковой трубе. При бурении геологоразведочных скважин широко применяются следующие способы заклинивания керна в колонковой трубе:

- затирка «всухую» при бурении мягких и рыхлых пород;
- заклиночным материалом, подаваемым с поверхности;
- кернорвателями различных конструкций (открытого и закрытого типа, пружинные, типа «паук» и т. д.).

Все широко применяемые в настоящее время способы захвата и удержания керна без полного перекрытия колонковой трубы не гарантируют полностью надежного захвата керна. Абсолютная надежность срыва и удержания керна при подъеме может быть гарантирована только применением специальных конструкций кернорвателей, полностью перекрывающих колонковую трубу по окончании рейса.

На современном уровне развития геологоразведочного бурения наиболее распространенным способом захвата керна является применение кернорвателей открытого типа с пружинным кольцом. На керн, отделенный от забоя, при подъеме бурового

снаряда на поверхность воздействует несколько сил, которые в общем виде могут быть сведены в две группы: удерживающие силы F_y и выталкивающие силы F_b .

Следует отметить, что вопросам оценки надежности срыва и удержания керна при подъеме бурового снаряда в нашей литературе не уделяется достаточного внимания. Некоторые теоретические вопросы условий удержания керна при подъеме бурового снаряда рассмотрены С. С. Сулакшиным [15]. Однако им описаны условия удержания керна в колонковой трубе в состоянии статического равновесия. В то же время процесс срыва и удержания керна должен рассматриваться в максимальном приближении к реальным условиям бурения, т. е. с учетом динамического изменения параметров системы «буровой снаряд — скважина».

Условием удержания керна в колонковом снаряде является неравенство $F_y > F_b$. Выталкивающая при подъеме снаряда сила F_b складывается в основном из суммы трех сил: $F_b = F_1 + F_2 + F_3$, где F_1 — собственный вес керна; F_2 — избыточная нагрузка столба жидкости в бурильных трубах и колонковой трубе; F_3 — силы инерции керна и столба жидкости в буровом снаряде.

Собственный вес керна с учетом потери веса в промывочной жидкости рассчитывается по формуле

$$P_1 = V_k (\gamma_p - \gamma_{\text{ж}}) = 0,784 d_k^2 l_k (\gamma_p - \gamma_{\text{ж}}), \quad (6-4)$$

где V_k — объем керна; d_k — диаметр керна; γ_p — удельный вес породы; $\gamma_{\text{ж}}$ — удельный вес промывочной жидкости; l_k — длина столбика керна.

Сила избыточного гидростатического давления промывочной жидкости определяется разностью уровней промывочной жидкости в скважине и в колонне бурильных труб. В процессе подъема бурового снаряда на поверхность следует различать два момента.

Предподъем — состояние, когда собственно бурение прекращено, промывка в бурильные трубы не поступает. При отсутствии катастрофических поглощений промывочная жидкость в скважине и в бурильных трубах стабилизируется практически на одном уровне в состоянии статического равновесия. Избыточное давление на керн практически отсутствует.

Подъем — состояние, когда статическое равновесие уровней жидкости нарушается за счет динамического изменения состояния системы «буровой снаряд — скважина».

Для расчета максимального эффекта воздействия избыточного давления промывочной жидкости принимаются следующие допущения:

— отсутствие катастрофических поглощений промывочной жидкости в скважине;

— отсутствие слива избыточной жидкости через колонковый снаряд вследствие зашламования керна в колонковой трубе;

— промывочная жидкость из отвинчиваемой свечи в полном объеме возвращается в скважину.

При указанных допущениях подъем снаряда на некоторую высоту от забоя ΔH определяет понижение уровня жидкости в скважине на значение Δh . По мере подъема снаряда уровень жидкости в скважине будет понижаться до некоторого значения H_1 . За точку отсчета принимается устье скважины. В этом случае разность уровней промывочной жидкости, заполняющей колонну бурильных труб и затрубное пространство, во время подъема бурового снаряда будет изменяться от устья скважины до некоторой глубины H_1 плюс длина столба жидкости в полностью поднятой свече бурового снаряда. В общем виде избыточное давление промывочной жидкости на керн в процессе подъема бурового снаряда может быть определено следующим выражением:

$$p = \gamma_{\text{ж}} \int_0^{H_1 + l_{\text{св}}} dh,$$

где $l_{\text{св}}$ — длина свечи.

Решение интеграла в заданных пределах позволяет получить выражение

$$p = \gamma_{\text{ж}} (H_1 + l_{\text{св}}). \quad (6-5)$$

Тогда сила избыточного давления, действующая на керн,

$$F_2 = 0,784 d_{\text{к}}^2 \gamma_{\text{ж}} (H_1 + l_{\text{св}}). \quad (6-6)$$

Уровень H_1 можно определить исходя из равенства объема освобождающегося кольцевого зазора скважины V_1 , определяющего значение понижения уровня жидкости H_1 , и объема поднимаемого снаряда V_2 .

После ряда преобразований получим формулу для определения уровня H_1 :

$$H_1 = [(H - H_{\text{д. с}})(D_{\text{б. т}}^2 - d_{\text{б. т}}^2)] / (D_{\text{скв}}^2 - D_{\text{б. т}}^2), \quad (6-7)$$

где $D_{\text{скв}}$ — диаметр скважины; $D_{\text{б. т}}$ — наружный диаметр бурильных труб; $d_{\text{б. т}}$ — внутренний диаметр бурильных труб; H — глубина скважины; $H_{\text{д. с}}$ — длина снаряда в скважине.

Приведенная формула справедлива только при соблюдении неравенства $H \geq H_{\text{д. с}} \geq H_1$. При длине снаряда, равной уровню жидкости, он выходит из промывочной жидкости, и дальнейшее изменение избыточного давления определяется только уменьшением столба жидкости непосредственно в поднимаемом буровом снаряде.

Силы инерции собственно керна и столба промывочной жидкости возникают в момент подъема снаряда при «страгива-

нии» с подкладной вилки и зависят от ускорения подъема и от массы керна и столба жидкости в бурильных трубах. В общем виде $F_3 = a(m_k + m_{jk})$, где a — ускорение подъема; m_k — масса керна; m_{jk} — масса столба жидкости в колонне бурильных труб.

Масса керна во время подъема остается постоянной:

$$m_k = 0,784d_k^2 l_k (\gamma_p/g),$$

где l_k — длина столбика керна; g — ускорение свободного падения.

Масса жидкости при подъеме снаряда будет изменяться по мере уменьшения длины колонны бурильных труб от $m_{jk} = \max$ (забой скважины) до $m_{jk} = 0$ (устые скважины).

В общем виде выражение для убывающей m_{jk} примет вид

$$m_{jk} = -0,784d_k^2 (\gamma_{jk}/g) \int_H^0 dh.$$

При решении определенного интеграла получим выражение

$$m_{jk} = 0,784d_k^2 (\gamma_{jk}/g) H,$$

тогда

$$F_3 = 0,784d_k^2 (a/g) (\gamma_p l_k + \gamma_{jk} H). \quad (6-8)$$

Выталкивающая сила F_v , действующая на керн, определяется суммой всех указанных выше сил ($F_1 + F_2 + F_3$).

Из полученных выражений (6.4), (6.6), (6.8) видно, что F_v определяется в основном четырьмя параметрами: глубиной скважины; диаметром скважины, в целом определяющим и диаметр керна; диаметром бурильных труб; удельным весом промывочной жидкости.

Параметры — длина столбика керна, удельный вес горных пород и длина свечи — имеют подчиненное значение и не влияют существенно на значение выталкивающей силы. Зависимость выталкивающей силы от основных параметров бурения показана на рис. 6-7.

Удерживающие силы определяются силой трения во всех случаях захвата керна: при затирке керна «всухую», заклинигании подручным материалом или при захвате керна кернорвателями. Применение кернорвателей различных конструкций помимо упрощения процесса срыва и удержания керна позволяет регулировать силу его захвата. Сжимающее усилие кернорвательного кольца $P_{сж}^1$ определяется из расчета по схеме распределения сил, действующих на керн в момент срыва его по окончании рейса (рис. 6-8). Оно может быть представлено в виде следующего математического выражения:

$$P_{сж}^1 = P_{з.к}^1 / \operatorname{tg}(\alpha + \rho), \quad (6-9)$$

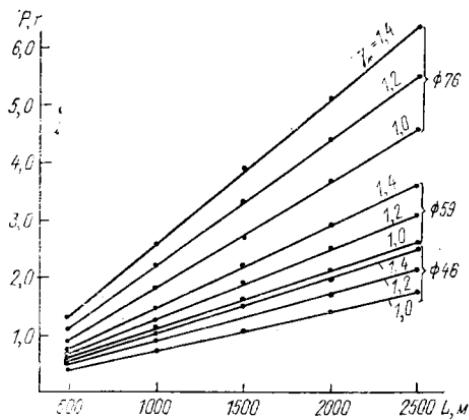


Рис. 6-7. Зависимость выталкивающей силы F от глубины скважины L , диаметра коронки и от плотности γ промывочной жидкости.

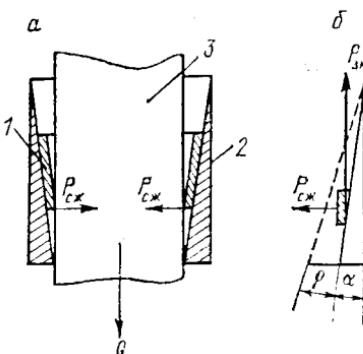


Рис. 6-8. Общий вид захвата керна кернорвательным кольцом (а) и схема распределения сил, действующих на керн в момент его отрыва (б).

1 — кернорвательное кольцо; 2 — корпус кернорвателя; 3 — столбик керна; а — угол скоса корпуса кернорвателя, ρ — угол трения.

где $P_{з.к}$ — усилие задавливания керна в кернорвательное кольцо; α — угол скоса корпуса кернорвателя; ρ — угол трения.

В формуле (6.9) угол скоса корпуса кернорвателя α определяется конструктивным параметром кернорвателя, а тангенс угла трения ρ суть коэффициент трения системы «металл — порода». Усилие задавливания керна $P_{з.к}$ определяется условиями срыва керна. При этом в геологоразведочной практике при срыве керна возможны следующие три случая:

1. Керн отделен от забоя. Усилие задавливания определяется весом керна.

2. Срыв керна происходит при натяге вверх и одновременном вращении снаряда. Усилие задавливания определяется сопротивлением керна на скручивание.

3. Срыв керна происходит только за счет натяжения снаряда вверх. Усилие задавливания определяется сопротивлением керна на растяжение.

Усилие заклинивания керна в кернорвательном кольце под собственным весом керна является минимальным развивающимся кернорвателем в процессе бурения, определяемым условиями захвата полностью отделенного от забоя керна. Наиболее часто это наблюдается при бурении сильнотрешиноватых, раз-

дробленных пород и усилие задавливания определяется следующей формулой:

$$P_{з.к}^1 = (\pi d_k^2 / 4) l_k (\gamma_p - \gamma_{ж}). \quad (6-10)$$

Вес керна в этом случае определяется с учетом потери веса тела, полностью погруженного в жидкость:

$$P_1 = \{\pi d_k^2 / [4 \operatorname{tg}(\alpha + \rho)]\} l_k (\gamma_p - \gamma_{ж}). \quad (6-11)$$

Самым распространенным случаем в геологоразведочной практике является срыв керна при натяжении бурового снаряда вверх с одновременным его вращением. В этом случае керн отделяется от забоя путем отрыва скручиванием. При этом усилие задавливания

$$P_{з.к}^2 = (\pi d_k^3 / 16) \sigma_{ск} h_k, \quad (6-12)$$

где $\sigma_{ск}$ — предел прочности породы на скручивание, даН/см²; h_k — высота столбика керна, охваченного кернорвательным кольцом, м.

Тогда развивающееся кернорвательным кольцом сжимающее усилие

$$P_{сж}^2 = \{\pi d_k^3 / [16 \operatorname{tg}(\alpha + \rho)]\} \sigma_{ск} h_k. \quad (6-13)$$

Частным случаем отделения керна от забоя является отрыв его при подъеме снаряда вверх. При этом керн отделяется от забоя путем чистого отрыва и реакция силы задавливания будет

$$P_{з.к} = (\pi d_k^2 / 4) \sigma_p, \quad (6-14)$$

где σ_p — предел прочности породы на растяжение, даН/см².

В этом случае сжимающее усилие

$$P_{сж}^3 = \{\pi d_k^2 / [4 \operatorname{tg}(\alpha + \rho)]\} \sigma_p. \quad (6-15)$$

Выше рассмотрены практически все случаи захвата и срыва керна кернорвательным кольцом, наблюдающиеся при бурении геологоразведочных скважин. При использовании кернорвателей с кернорвательными кольцами необходимо иметь в виду, что кернорвательное кольцо в процессе захвата керна работает как клиновое соединение и развивающее им сжимающее усилие увеличивается только до определенных пределов, определяемых прочностью материала керна и кернорвательного кольца. В общем случае материал кольца прочнее горной породы, представляющей керн. В связи с этим изменение диаметра захвата за счет раздавливания материала керна приводит к нарушению условий работы клинового соединения и тем самым к резкому падению сжимающего усилия.

Таблица 6-13

**Максимальное сжимающее усилие, создаваемое кольцом
кернорваталя для различных горных пород, т**

Породы	Диаметр бурения, мм		
	46	59	76
Граниты	1,94—7,29	2,63—9,87	4,4—16,5
Кварциты	7,2—12,0	9,9—16,5	16,5—27,5
Кремни	7,2 и более	9,9 и более	16,5 и более
Доломиты	1,94—7,60	2,63—10,56	4,4—17,6
Известняки	0,12—1,94	0,16—2,63	0,27—4,4
Песчаники	0,48—6,0	0,66—8,25	1,10—13,75
Глинистые сланцы	До 2,43	До 3,29	До 5,46
Ангидриты	До 3,12	До 4,20	До 7,15
Гипсы	До 1,20	До 1,65	До 2,75
Каменная соль	0,48—0,96	0,66—1,32	1,10—2,20

Таким образом, максимальное сжимающее усилие кернорвательного кольца определяется сопротивлением горной породы на сжатие и может быть рассчитано по формуле

$$P_{\text{сж. max}} = \pi d_k h_k \sigma_{\text{сж}}, \quad (6-16)$$

где h_k — высота столбика керна, охваченного кольцом; $\sigma_{\text{сж}}$ — предел прочности породы на сжатие.

Исходя из предельного сжимающего усилия можно рассчитать максимальное усилие задавливания керна в кернорвательное кольцо:

$$P_{\text{з.к. max}} = \pi d_k h_k \sigma_{\text{сж}} \operatorname{tg}(\alpha + \rho). \quad (6-17)$$

Как следует из формулы (6-17), максимальное сжимающее усилие прямо зависит от предела прочности пород на сжатие и, таким образом, различно для конкретных горных пород. Расчеты сжимающего усилия для некоторых широко распространенных горных пород приводятся в табл. 6-13.

Таким образом, в процессе срыва и дальнейшего подъема на поверхность керн испытывает сложное воздействие разнонаправленных сил, достигающих значительных (до нескольких тонн) значений. При этом следует учитывать, что выталкивающие силы, действующие на керн, существенно меняются во время подъема и в значительной степени зависят от глубины скважины. При бурении глубоких (свыше 1500 м) горизонтов скважин в мягких породах осадочного комплекса при использовании кернорвательных колец для увеличения надежности

удержания керна при подъеме рекомендуется обеспечить дополнительное заклинивание керна в кернорвателе буровым шламом.

ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ КОНДИЦИОННЫЙ ВЫХОД КЕРНА В РАЗЛИЧНЫХ ГРУППАХ ГОРНЫХ ПОРОД

В основу рекомендаций по выбору технических средств и методов, обеспечивающих кондиционный выход керна при геологоразведочном бурении, заложены критерии выбора технических средств отбора керна и классификация горных пород по трудности отбора керна. Основным принципом выбора технических средств отбора керна является соответствие данного технического средства или способа бурения горно-геологическим условиям конкретной геологоразведочной скважины.

Исходя из этого степень защиты керна от воздействия разрушающих факторов, присущая данному средству, должна соответствовать структурным и текстурным признакам горной породы, степени ее трещиноватости и физико-механическим характеристикам. Кроме того, применение данного технического средства в конкретных геологических условиях должно быть экономически целесообразным. В настоящее время в арсенале технических средств существует значительное число серийных и местных конструкций, сходных по своим конструктивным параметрам и техническим показателям применения. В этом случае решающее значение принимает экономическая оценка эффективности применения данного технического средства. Как правило, наиболее высокими экономическими показателями обладает серийно выпускаемая продукция.

При выборе технических средств необходимо также учитывать перспективность дальнейшего развития и совершенствования данного технического средства или метода. В настоящее время для бурения слабых, различной степени трещиноватости горных пород можно и необходимо рекомендовать такой перспективный метод, как бурение с гидротранспортом керна на поверхность.

Рекомендации по оперативному выбору технических средств для отбора керна при геологоразведочном бурении приводятся в табл. 6-14. Рекомендации составлены в соответствии с новой классификацией горных пород по трудности отбора керна. В них для каждой группы пород рекомендуется определенный арсенал технических средств, применение которых в данных геологических условиях экономически целесообразно.

Таблица 6-14

Общие рекомендации по выбору технических средств и методов, обеспечивающих кондиционный выход керна в различных группах горных пород

Группа пород	Выход керна, %	Поля эталонной схемы	Категория пород по буримости	Характеристика горных пород	Рекомендуемые технические средства и методы	
					Несвязные, рыхлые, размытые	Вибробурение, шнековое бурение, пневмопробойники, грейферное бурение, безопасное бурение
I	0—20	A-1—A-9	I—III	Несвязные, рыхлые, размытые	Вибробурение, шнековое бурение, пневмопробойники, грейферное бурение, безопасное бурение	КССК, ГРЭС, ДТА-2, КГК до V категории, ДКНГ-ВП, ССК; безопасное бурение
	Б-8—Б-9, В-8		III—VIII	Неоднородные, перемежающиеся по твердости и однородные слабосвязные, сильнотрещиноватые		
	В-9, Г-9, Д-9		III—VI	Связные и слабосвязные, однородные и неоднородные по строению, сильно-трещиноватые		
II	20—40	Б-6	III—IV	Неоднородные, перемежающиеся по твердости, слабосвязные, среднетрещиноватые	КССК, ГДН-2, КГК, ДонбассНИИЛ-II	ГРЭС, ТДН-0, ТДН-2, ССК, КССК ГРЭС, ТДН-0, ТДН-2, ССК, КССК
	Б-7 Г-7—Г-9, Д-8		IX—XII	То же		
			VII—VIII	Связные, неоднородные и однородные по строению, сильнотрещиноватые		
III	40—60	Б-3	III—VI	Неоднородные, перемежающиеся по твердости, слабосвязные, монолитные и слаботрещиноватые	ДонбассНИИЛ-I, II, ТДН-2, КССК ГДН-2, ССК, КССК, ГРЭС	ГДН-2, ССК, КССК, ГРЭС
			III—VII	Неоднородные, перемежающиеся по твердости и строению, связные, средне-трещиноватые		
			Б-4, Г-5—Г-6			

Продолжение табл. 6-14

Группа подземных вод	Выход керна, %	Полная этажная схемы	Категория пород по буримости	Характеристика горных пород	Рекомендуемые технические средства и методы	
					III—VIII	IX—XII
III	40—60	B-4—B-5	III—VIII	Однородные, слаботрещиноватые, как исключение среднетрещиноватые	TDN-2, CCK, TDN-УТ, ГРЭС	
		B-6	IX—XII	Однородные, слабосвязные, среднетрещиноватые	TDN-0, TDN-2, ГРЭС	
		D-7	IX—XII	Однородные, связные, сильнотрещиноватые	TDN-0, TDN-2, ГРЭС	
IV	60—80	B-1—Б-2, B-1—B-2	VII—XII	Неоднородные, перемежающиеся по твердости и массивные, слабосвязные, монолитные и слаботрещиноватые	TDN-2, TDN-УТ, одинарный колонковый снаряд	
		B-3, Г-2—Г-3	III—VIII	Однородные и неоднородные по строению, связные, монолитные и слаботрещиноватые	TDN-УТ, КССК, ССК, одинарный колонковый снаряд	
		Г-4, Д-4—Д-5	VII—XII	Неоднородные и однородные по строению, связные, среднетрещиноватые	TDN-УТ, TDN-2, ССК, одинарный колонковый снаряд	
		D-6	III—VI	Однородные, связные, сильнотрещиноватые	KССК, ДонбасНИЛ-1, II, одинарный колонковый снаряд	
V	80—100	Г-1, Д-1	IX—XII	Неоднородные и однородные по строению, связные, монолитные и слаботрещиноватые	TDN-УТ, ССК, одинарный колонковый снаряд	
		Д-2—Д-3	III—VIII	Однородные, связные, монолитные и сильнотрещиноватые	TDN-УТ, ССК, КССК, одинарный колонковый снаряд	

Причание. Приведены технические средства, спроектированные для водами Минтепса СССР.

ТЕХНОЛОГИЯ ОТБОРА КЕРНА ПРИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОМ БУРЕНИИ

ОТБОР КЕРНА В РАЗЛИЧНЫХ ГРУППАХ ГОРНЫХ ПОРОД

В практике геологоразведочных работ в настоящее время применяются более пятидесяти типов конструкций специальных колонковых снарядов, предназначенных для повышения выхода керна. Это только те конструкции, описание которых приводится в общедоступной литературе. Кроме того, каждое производственное геологическое объединение, экспедиция или даже партия в какой-то степени видоизменяют общеизвестные конструкции специальных колонковых снарядов или создают свои собственные, местные конструкции.

Однако кроме большого количества технических средств, созданных специально для повышения выхода керна (двойные колонковые трубы, эжекторные снаряды, эрлифтный способ бурения и т. д.), необходимо учитывать и всемерно внедрять чисто технологические приемы и способы бурения, позволяющие существенно повысить выход керна при геологоразведочном бурении.

Общеизвестны такие технологические приемы повышения выхода керна при бурении конкретного комплекса пород, как безнасосное бурение и бурение всухую, укорачивание рейса, применение больших диаметров бурения и др. Все они обеспечивают повышение выхода керна и получение кондиционного керна даже в весьма сложных геологических условиях. Однако практически все вышеперечисленные технологические способы приводят к резкому снижению технико-экономических показателей бурения и соответственно к снижению производительности геологоразведочных работ.

В то же время всемерное увеличение производительности бурения и ускорение сроков разведки месторождений является важнейшей задачей геологоразведочных работ. В связи с этим применение способов и методов приводящих к снижению технико-экономических показателей может допускаться только в исключительных случаях при невозможности избежать геоло-

гического брака на данном уровне технического вооружения конкретной геологической организации.

Таким образом, решающее влияние на решение проблемы обеспечения высокого качества буровых работ за счет получения кондиционного выхода керна оказывает правильный выбор и особенно правильное применение специальных технических средств и технологических методов отбора керна.

Наиболее эффективные способы бурения, конструкции специальных технических средств для отбора керна и типоразмеры породоразрушающего инструмента выбираются исходя из конкретных горно-геологических условий в соответствии с классификацией горных пород по трудности отбора керна и с критериями выбора специальных технических средств для отбора керна.

Оптимальные режимы бурения выбираются в соответствии с горно-геологическими условиями и применяемыми типами специальных технических средств. Существенно важным моментом при этом являются организационные факторы:

- высокая квалификация рабочих буровых бригад;
- строгое соблюдение требований геолого-технического наряда и методических указаний работников технологической службы.

Ниже приводятся разработанные ВИТР рекомендации по выбору и применению специальных технических средств и технологических способов отбора керновых проб в различных группах горных пород.

Отбор керна в горных породах первой группы. Горные породы первой 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, суспеси, дресва, валунно-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 (виброзонды) диаметрами от 40 до 219 мм, длиной от 0,5 до 4 м и установки БУВ-1Б, оборудованные вибромолотом с частотой ударов от 1000 до 1400 мин⁻¹.

При шнеко-колонковом бурении применяются полые (или магазинные) шнеки или комбинация шнека с колонковым снарядом. Бурение ведется с частотой вращения до 150 мин⁻¹ и осевой нагрузкой 200—300 дан установками УКБ-12/25,

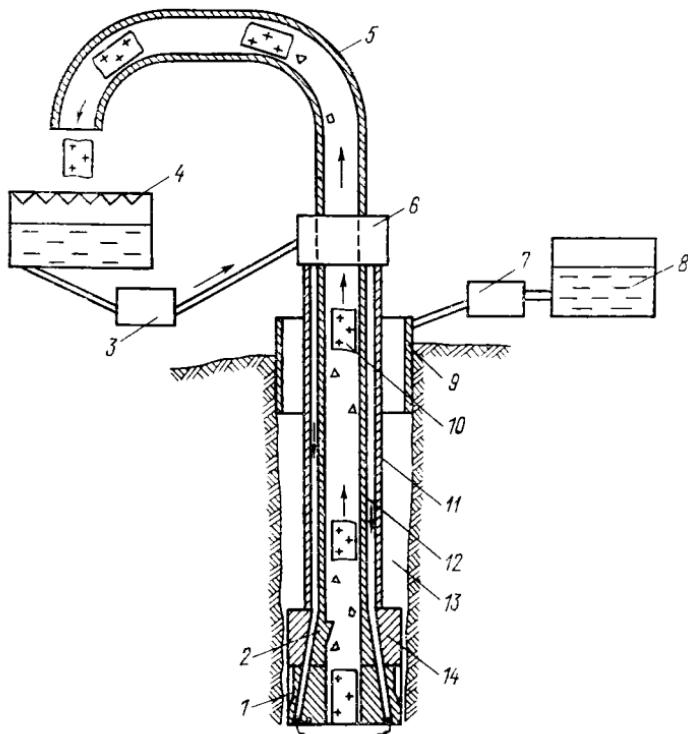


Рис. 7-1. Схема бурения с гидротранспортом керна на поверхность комплексом КГК-100.

1 — породоразрушающий инструмент; 2 — кернолом; 3 — насос для легкого раствора; 4 — выбросито; 5 — гибкий шланг; 6 — сальник-вертлюг; 7 — насос для тяжелой жидкости; 8 — емкость для тяжелого раствора; 9 — герметизатор; 10 — керн; 11 — наружная труба; 12 — внутренняя труба; 13 — скважина; 14 — специальный переходник.

с которыми могут использоваться также грунтоносы вращательного действия конструкций ВСЕГИНГЕО и аналогичные конструкции.

Для получения керна в горных 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 комплексом КГК-100 (рис. 7-1).

Комплекс КГК-100 предназначен для бурения скважин в мягких отложениях II—IV категорий по буримости с прослойями пород V—VII категорий при поисково-съемочных работах, геологическом картировании и разведке месторождений твердых полезных ископаемых.

Техническая характеристика КГК-100

Глубина бурения, м	100
Диаметр керна, мм	34—38
Вращатель	Подвижный с гидроприводом
Ход подачи, м	5,2
Частота вращения шпинделя, с ⁻¹ (мин ⁻¹)	2,3; 3,7; 5,4 (140, 225, 325)
Крутящий момент, Н·м	1580, 990, 690
Транспортная база	Автомобиль ЗИЛ-131
Масса, кг	10 080

Для разрушения горных пород применяются специальные твердосплавные коронки или шарошечные долота колонкового бурения. Бурение проводится двойной колонной бурильных труб, в которой внутренние трубы по своей внутренней поверхности не имеют каких-либо уступов, тормозящих движение керна. Стыковка торцов и герметизация внутренних труб производится с помощью специального промывочного сальника, компенсирующего за счет хода подвижного шпинделя несоответствия длин наружных и внутренних труб колонны.

В процессе бурения промывочная жидкость или вода закачивается в скважину насосом (НБ4-320/63) 3 по кольцевому зазору между трубами 11 и 12. Поступая на забой по промывочным каналам в переходнике 14 и породоразрушающем инструменте 1, она обогащается кусками керна и шламом и по внутренней керноприемной трубе 12 поднимается на поверхность. На вибросите 4 керн и шлам отделяются от промывочной жидкости. Для эффективной их транспортировки скорость восходящего потока должна составлять не менее 0,6 м/с.

В переходнике 14 размещается кернолом 2, а сам переходник служит центратором и пакерным устройством, отделяющим легкий раствор от тяжелого, закачиваемого в скважину насосом 7 через герметизатор 9. Тяжелый глинистый раствор не циркулирует в скважине в процессе бурения, а служит для удержания стенок скважин от обрушения и для смазки вращающейся буровой колонны.

Диаметр керна составляет 32—34 мм. Расход промывочной жидкости $Q = 1,7 \div 5 \text{ дм}^3/\text{с}$. Частота вращения снаряда $n = 150 \div 400 \text{ мин}^{-1}$. Осевая нагрузка на инструмент $P = 300 \div 1200 \text{ дан}$.

В неоднородных, перемежающихся по твердости слабосвязанных и сильнотрециноватых горных породах III—VIII категорий по буримости, слагающих ряд гидротермальных, осадочных и инфильтрационных месторождений, а также месторождений коры выветривания, успешно применяются эжекторные колонковые снаряды в комплекте с высокочастотными гидроударными машинами и безнасосное бурение.

Специальные комплексы (гидроударный реверсивно-эжекторный снаряд, ГРЭС) конструкции СКБ Мингео СССР

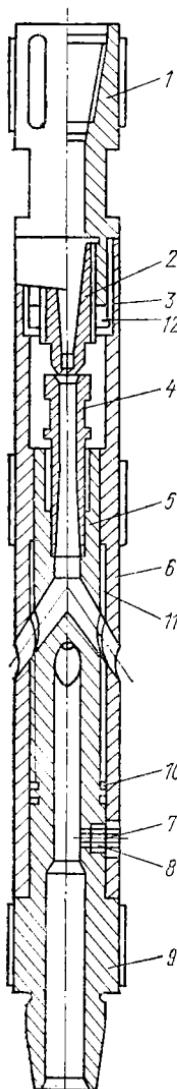


Рис. 7-2. Гидроударный реверсивно-эжекторный снаряд ГРЭС-59.

1 — верхний переходник; 2 — насадка; 3 — фигурная шайба; 4 — диффузор; 5 — центральная втулка; 6 — корпус; 7 — палец-фиксатор; 8 — стопор; 9 — нижний переходник; 10 — резиновая манжета; 11 — втулка; 12 — гайка.

(рис. 7-2) обеспечивают в породах первой группы выход керно-шламового материала в размере 80—100 %, причем доля шлама в пробе возрастает в рыхлых и несвязанных горных породах, а также при увеличении степени их неоднородности и трещиноватости.

Снаряд ГРЭС-59 предназначен для использования в комплекте с гидроударными машинами типа ГВ-6, ГВ-59в. В состав гидроударного снаряда ГРЭС-59 входят эжектор, закрытая шламовая труба, колонковая труба с кернорвателем. Сверху к снаряду присоединяют гидроударную машину, а к нижнему концу колонковой трубы — серийную алмазную коронку.

Перед спуском снаряда в скважину эжектор приводят в рабочее положение. Для этого нижний переходник 9 поворачивают влево на 90° относительно корпуса 6 и фиксируют его в этом положении стопором 8. Выходные отверстия корпуса в таком положении перекрыты втулкой 11 и весь поток промывочной жидкости поступает, минуя диффузор 4, в колонковую трубу. При постановке на забой под действием возросших осевой нагрузки и крутящего момента стопор срезается, осевой переходник завинчивается в корпус до упора, выходные отверстия корпуса и осевого переходника совмещаются, снаряд начинает работать как обычный эжектор.

В отличие от одинарных эжекторных снарядов (ОЭС) с помощью снаряда ГРЭС-59 можно промывать скважину прямым потоком промывочной жидкости, что позволяет предупредить попадание в колонковую трубу породы со стенок скважины и шлама от предыдущего рейса.

Техническая характеристика ГРЭС-59

Диаметр скважины, мм	59
Диаметр корпуса по наплавкам, мм	58
Длина эжектора, мм	Не более 620
Длина снаряда, мм	Не более 4500
Масса эжектора, кг	8,4
Очистной агент	Вода и глинистый раствор

Расход промывочной жидкости, дм ³ /мин	80—100
Перепад давления в снаряде, МПа	0,5
Расход эжектируемой жидкости, дм ³ /мин	30—35
Ресурс снаряда, ч	150

В неоднородных, перемежающихся по твердости слабосвязанных и сильноотрещиноватых горных породах III—VIII категорий по буримости, слагающих ряд гидротермальных, осадочных и инфильтрационных месторождений, а также месторождений коры выветривания, возможно применение одинарных эжекторных колонковых снарядов типа ОЭС, а также комплектов оборудования эрлифтного насоса КОЭН для бурения с эрлифтом. Комплект оборудования эрлифтного насоса КОЭН (рис. 7-3) рекомендуется использовать при наличии в скважине грунтовых вод и затруднениях с водоснабжением буровых установок.

В этом комплекте движение жидкости создается за счет энергии сжатого воздуха, нагнетаемого в водоподъемную колонну 4 по буровому снаряду 1 и полиэтиленовой трубке 3. Выходя из смесителя 5, сжатый воздух, участвуя в адиабатическом процессе расширения, захватывает частицы воды и через переходник 2 изливает ее в скважину. Возникающая при этом обратная промывка обусловлена разницей между весом столба жидкости в скважине до уровня погружения смесителя 5 и весом водовоздушной смеси в водоподъемной колонне 4. С увеличением глубины погружения смесителя 5 эффективность обратной промывки возрастает. В практике глубина погружения смесителя составляет 30—50 м. Сливной переходник 2 при этом должен находиться выше динамического уровня жидкости в скважине.

Ниже эрлифтного насоса располагается шламовое устройство 7 и керноприемное устройство 8 с буровой коронкой. Для размещения эрлифтного насоса и создания необходимого напора промывочной жидкости необходимо предварительно забурить скважину на глубину 20—30 м под статический уровень грунтовых вод. При обратной всасывающей промывке в призабойной зоне способ обеспечивает получение 80—100 % выхода керна.

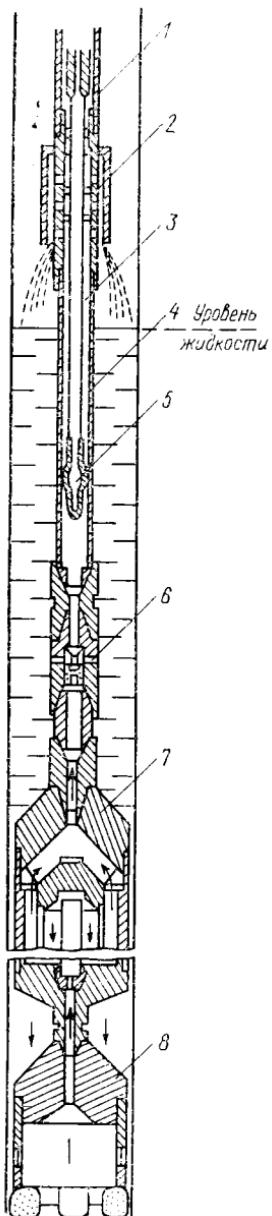
Кроме того, при бурении связных сильноотрещиноватых пород первой группы в ряде случаев возможно применение двойных колонковых труб, конструкции которых обеспечивают защиту керна от разрушения в сложных геологических условиях:

- применением невращающихся внутренних керноприемных труб;

- использованием схем промывки с полной изоляцией керна от потока промывочной жидкости (трубы ДТА-2, Донбасс-НИЛ-I, II, III) или с обеспечением обратной промывки вдоль оси керна (ТДН-0, ДЭС ЦНИГРИ).

Рис. 7-3. Комплект оборудования эрлифтного насоса КОЭН.

1 — буровой снаряд; 2 — сливной переходник; 3 — полистироловая трубка; 4 — водоподъемная колонна; 5 — эзимитель; 6 — обратный клапан; 7 — шламовое устройство; 8 — керноприемное устройство.



Двойная колонковая труба Донбасс-НИЛ-II (рис. 7-4) предназначена для бурения угольных пластов сложного строения в неоднородных по крепости вмещающих горных породах. Она состоит из пружинно-фрикционного механизма и керноприемного устройства.

При бурении слабых горных пород и углей внутренняя коронка 19 опережает наружную коронку 20. В этом положении крутящий момент керноприемной трубе 17 не передается и коронка 19 выполняет роль штампа.

При встрече плотных прослоев горных пород на внутреннюю коронку 19 увеличивается осевое давление, что приводит к сжатию тарельчатых пружин 4 и через фрикционные диски 7—9 фрикционного механизма передается крутящий момент керноприемной трубе 17 и коронка 19 обуливает твердый пропласток. Техническая характеристика двойной трубы ДонбассНИЛ-II приводится в табл. 7-1.

Двойной эжекторный колонковый снаряд ДЭС (рис. 7-5) представляет собой двойную колонковую трубу, в которую встроен струйный насос. Двойная колонковая труба может иметь врачающееся или невращающееся керноприемное устройство. Наиболее совершенными снарядами ДЭС являются снаряды, разработанные ЦНИГРИ и выпускающиеся серийно. В целях повышения технико-экономических показателей бурения двойные эжекторные снаряды типа ДЭС обычно применяются в комплекте с гидроударными машинами типа ГВ. Техническая характеристика двойных эжекторных снарядов приводится в табл. 7-2.

Рабочие параметры режимов бурения с двойными колонковыми трубами подбираются в каждом конкретном случае в за-

Рис. 7-4. Двойная колонковая труба ДонбассНИЛ-II.

1 — износостойкий переходник; 2 — подшипник; 3 — опора; 4 — тарельчатая пружина; 5 — упорный патрубок; 6 — шлицевый вал; 7—9 — фрикционные диски; 10 — шлицевой патрубок; 11 — подшипник; 12 — сальниковое уплотнение; 13 — средний переходник; 14 — гайка; 15 — переходник; 16 — керноприемная кассета; 17 — керноприемная труба; 18 — наружная труба; 19 — внутренняя коронка; 20 — наружная коронка.

висимости 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 горной породы под торцами утолщенных специальных твердосплавных и алмазных коронок.

При бурении пород первой группы большое влияние на выход керна оказывает режим промывки скважины. Для предупреждения размытия стенок скважины и керна необходимо обеспечить рациональную скорость потока промывочной жидкости в межтрубном и в затрубном зазорах.

Легкорастворимые минеральные соли и сцепленные льдом многолетнемерзлые породы, входящие в первую 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 расщепляемых пород следует применять охлажденные солевые растворы или охлажденный сжатый воздух.

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

При бурении в мягких неустойчивых породах первой группы коронками большого (93 мм и выше) диаметра допускается использование одинарных колонковых снарядов с ограничением проходки за рейс до 0,5—1,0 м с последующей

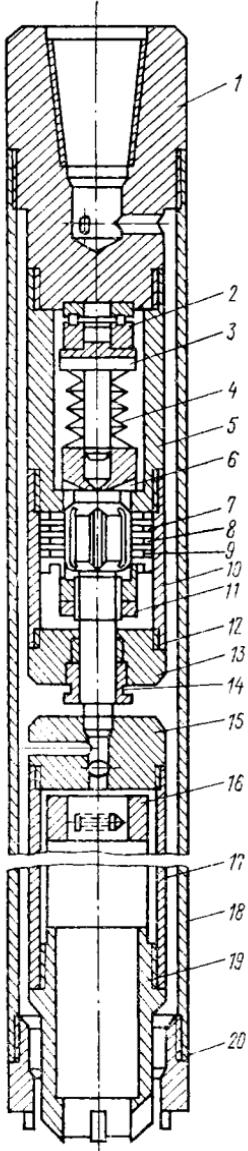


Таблица 7.1

Техническая характеристика двойной колонковой трубы ДонбассНИЛ-II

Параметр	Диаметр снаряда, мм		
	89	73	57
Диаметр бурения, мм	93	76	59
Диаметр керна, мм	54	38	30
Наружная труба, мм:			
наружный диаметр	89	73	57
внутренний диаметр	81	65,5	49,5
Внутренняя труба, мм:			
наружный диаметр	73	57	45
внутренний диаметр	65,5	49,5	40
Наружная коронка, мм:			
наружный диаметр	93	76	59
внутренний диаметр	69	53	54
Внутренняя коронка-штамп, мм:			
наружный диаметр	67	51,5	42
внутренний диаметр	54	38	32
Длина снаряда, мм	1565	1575	1520
Масса снаряда, кг	38	25	16,5

затиркой керна «всухую». Бурение горных пород первой группы производится на пониженных частотах вращения бурового снаряда (до 500 мин⁻¹), заклинивание керна допускается выполнять методом затирки всухую для более надежного удержания керна в процессе подъема снаряда на поверхность.

Отбор керна в горных породах второй группы. Горные породы второй группы характеризуются низким выходом керна (20—40 %). Породы связные, в основном неоднородные по строению, средне- и сильноутрещиноватые. Генетическое происхождение самое разнообразное. Для получения кондиционного выхода керна необходимо применять специаль-

Таблица 7.2

Техническая характеристика двойных эжекторных снарядов ДЭС

Наименование параметров	Диаметр снаряда, мм	
	89	73
Диаметр наружный, мм	89	73
Диаметр породоразрушающего инструмента, мм	93	76
Диаметр керноприемной трубы, мм:		
наружный	73	60
внутренний	65,5	55
Длина керноприемной трубы, м	3,0	3,0
Длина снаряда, м	3,8	3,8

Рис. 7-5. Двойной эжекторный снаряд ДЭС конструкции ЦНИГРИ.

1 — верхний переходник; 2 — гайка; 3 — внутренний переходник; 4 — уплотнительное кольцо; 5 — насадка; 6 — втулка; 7 — диффузор; 8 — патрубок приемной камеры; 9 — распределитель; 10 — конус отражателя; 11 — внутренняя труба; 12 — шламовая труба; 13 — переходник; 14 — керноприемная труба; 15 — наружная труба; 16 — подкоронник; 17 — кернодержатель; 18 — уплотнительное кольцо; 19 — алмазная коронка.

ные технические средства и технологические методы. Ввиду большого разнообразия пород второй группы для отбора керна используется широкий диапазон специальных технических средств.

Для пород с выходом керна 20—30 %:

- гидротранспорт керна (КГК-100);
- эжекторные снаряды (ГРЭС, ДЭС конструкции ЦНИГРИ);
- двойные колонковые трубы (ТДН-0, ДонбассНИЛ-II, III).

Для пород с выходом керна 30—40 %:

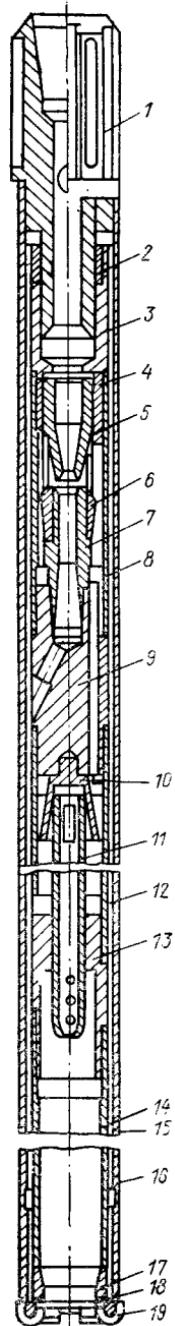
- двойные трубы с комбинированной промывкой (ТДН-2, ТДН-УТ);
- снаряды со съемными керноприемниками (ССК и КССК);
- специальные эжекторные снаряды (ГРЭС).

Двойная колонковая труба ТДН-0 (рис. 7-6) имеет подшипниковый узел открытого типа и керноприемное устройство со специальной алмазной коронкой.

Техническая характеристика двойных колонковых труб ТДН-0

Диаметр бурения, мм	59	76	93
Диаметр буровой коронки, мм:			
наружный	59	76	93
внутренний	34,5	46	66
Размеры наружной трубы, мм:			
диаметр наружный	57	73	89
толщина стенки	3,75	3,75	4,0
Размеры керноприемной трубы,			
мм:			
диаметр наружный	45	57	75
толщина стенки	3,0	3,75	3,0
Длина трубы, мм	4000	3640	4000
Масса трубы, кг	35	52	68

Подшипниковый узел состоит из верхнего переходника 1, соединенного резьбами с наружной трубой 2 и корпусом 4, в котором размещается сигнализатор самоподклинивания керна, упорный подшипник 6 и соедини-



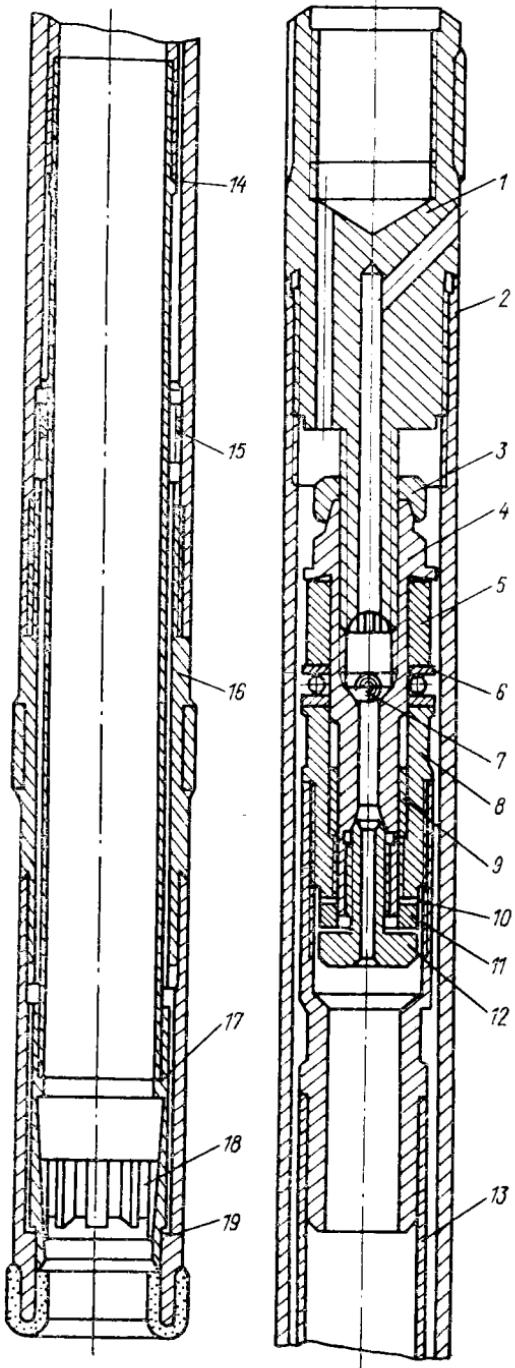


Рис. 7-6. Двойная колонковая труба типа ТДН-0 конструкции ВИТР.

1 — износостойкий переходник; 2 — наружная труба; 3 — гайка; 4 — корпус; 5 — втулка; 6 — подшипник; 7 — шарик; 8 — втулка; 9 — втулка; 10 — шайба; 11 — шайба; 12 — пробка; 13 — внутренняя труба; 14 — кольцо; 15 — наконечник; 16 — алмазный расширитель; 17 — корпус рвателя; 18 — кольцо рвательное; 19 — алмазная коронка.

тельная муфта. К муфте на резьбе присоединяется внутренняя керноприемная труба 13, в нижней части соединенная с рвательным устройством. К наружной трубе через алмазный или твердосплавный расширитель 16 крепится специальная алмазная коронка 19, снабженная пакерным поясом.

Промывочная жидкость по сверлению в переходнике 1 попадает в колонковый зазор между наружной и внутренней трубами и выходит в скважину выше забоя по промывочным каналам в теле алмазной коронки. Так как гидравлическое сопротивление на уровне пакерного пояса коронки и расширителя в скважине больше, чем на забое, основная часть промывочной жидкости устремляется через рвательное устройство в керноприемную трубу, обеспечивая обратную промывку.

Рис. 7-7. Двойная колонковая труба типа ТДН-2 конструкции ВИТР.

1 — износостойкий переходник; 2 — подшипниковый узел; 3 — регулировочная гайка; 4 — шарик обратного клапана; 5 — втулка коническая; 6 — керноприемная труба; 7 — труба наружная; 8 — расширитель алмазный; 9 — кольцевая проточка; 10 — корпус рвателья; 11 — кернорвательное кольцо; 12 — коронка алмазная.

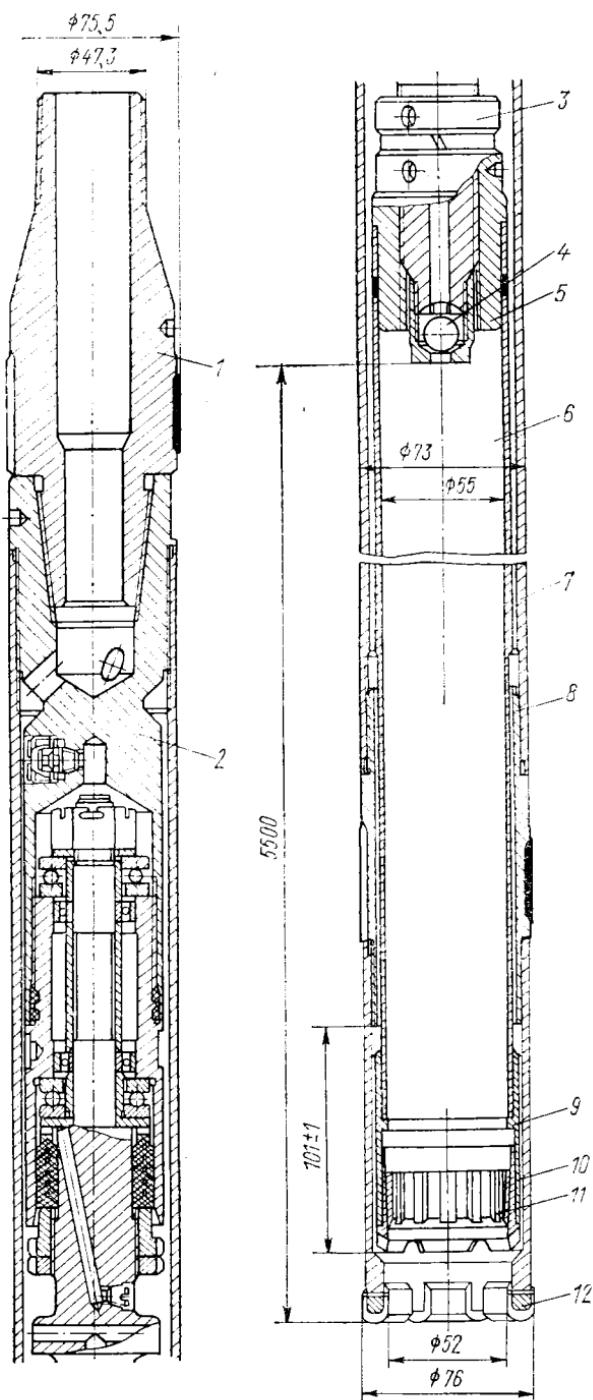


Таблица 7-3

Техническая характеристика двойных колонковых труб ТДН-2

Параметр	Диаметр снаряда, мм	
	59	76
Диаметр коронки, мм:		
наружный	59,0	76,0
внутренний	38,0	52,0
Размеры труб, мм:		
наружной		
наружный	57,0	75,0
внутренний	50,0	68,0
внутренней		
наружный	48,0	65,0
внутренний	44,0	61,0
Длина, мм*:		
трубы	6055,0	6200,0
керноприемной части	5500,0	5500,0
Масса трубы, кг	52,0	59,5

* В зависимости от геолого-технических условий длина труб по заказам производственных организаций может изменяться.

Из керноприемной трубы 13 жидкость попадает в скважину по сверлению в переходнике 1.

При самозаклиниваниях керна на керноприемную трубу 13 передается часть осевой нагрузки. При значениях осевой нагрузки 200—400 даN и более сигнализатор самозаклинивания сжимается, перекрывая каналы для прохода жидкости в кольцевой зазор между наружной и внутренней трубами. Повышение давления жидкости отмечается манометром на буровом насосе, что свидетельствует о возникновении самозаклинивания керна.

Трубы ТДН-2 (рис. 7-7) комплектуются специальными утолщенными алмазными коронками, что позволяет использовать при бурении глинистый раствор повышенной вязкости (до 40 с по СПВ-5). Увеличенная толщина матрицы позволяет повышать осевую нагрузку в 1,2—1,4 раза по сравнению с оптимальной для бурения одинарными колонковыми снарядами. Техническая характеристика двойных колонковых труб ТДН-2 приводится в табл. 7-3.

Двойная колонковая труба ТДН-2 состоит из подшипникового узла 2, к которому с помощью резьбового соединения крепится наружная труба 7. На стволе подшипникового узла закрепляется внутренняя керноприемная труба 6, имеющая возможность продольного перемещения для регулировки зазора между корпусом рвателя 10 и алмазной коронкой. Регулирование зазора производится с помощью гайки 3. В стволе

подшипникового узла имеются сверления для выхода жидкости из внутренней полости керноприемной трубы 6 при выдавливании ее керном и шаровой клапан, удерживающий керн от падения при извлечении трубы из скважины.

Специальная алмазная коронка присоединяется к наружной трубе 7 с помощью удлинителя. Верхняя часть трубы ТДН-2 фиксируется в скважине от поперечных перемещений износостойким переходником 1.

Промывочная жидкость поступает к забою скважины из бурового снаряда по каналу в подшипниковом узле 2 и кольцевому зазору между наружной трубой 7 и внутренней 6. Контакт керна с прямым потоком промывочной жидкости происходит ниже конической втулки 5 рвательного устройства.

Двойные колонковые трубы ТДН-УТ (рис. 7-8) комплектуются алмазными коронками с нормальной толщиной матрицы. Кольцевые зазоры в трубах позволяют использовать для промывки техническую воду и специальные растворы пониженной вязкости (до 20 с). Труба рекомендуется для бурения среднетрещиноватых горных пород VI—XI категорий по буримости.

Двойная колонковая труба ТДН-УТ конструкции ВИТР состоит из переходника 26, к которому на резьбе присоединяется наружная труба 32 и вал подшипникового узла 25. Внутренняя труба 7 может перемещаться относительно переходника подшипникового узла для регулировки зазора между корпусом рвателя 29 и алмазной коронкой 27. Фиксирование положения керноприемной трубы 7 на переходнике 10 производится цанговой контргайкой 9. Керноприемная труба имеет съемный стакан 31, на который свободно надет корпус рвателя 29 с размещенным в нем рвательным кольцом 28. Алмазная коронка 27 соединяется с наружной трубой 32 с помощью твердосплавного расширителя 30.

Промывочная жидкость от бурового насоса поступает в кольцевой зазор между наружной и внутренней трубами по каналу в износостойком переходнике 26. Ниже рвательного устройства поток промывочной жидкости разделяется на обратный, поднимающийся внутри керноприемной трубы и на прямой на участке от нижнего среза рвательного устройства до забоя скважины. Деление потока на прямой и обратный происходит в соответствии с уровнем гидравлических сопротивлений внутри керноприемной трубы и в скважине на участке от забоя до износостойкого редитового переходника 26. Техническая характеристика труб ТДН-УТ приводится в табл. 7-4.

Снаряды со съемными керноприемниками ССК (рис. 7-9) и КССК позволяют извлекать керн без подъема бурового инструмента. Они комплектуются специальными твердосплавными и алмазными коронками. Съемный керноприемник поднимают на поверхность овершотом. При спуске керноприемника его

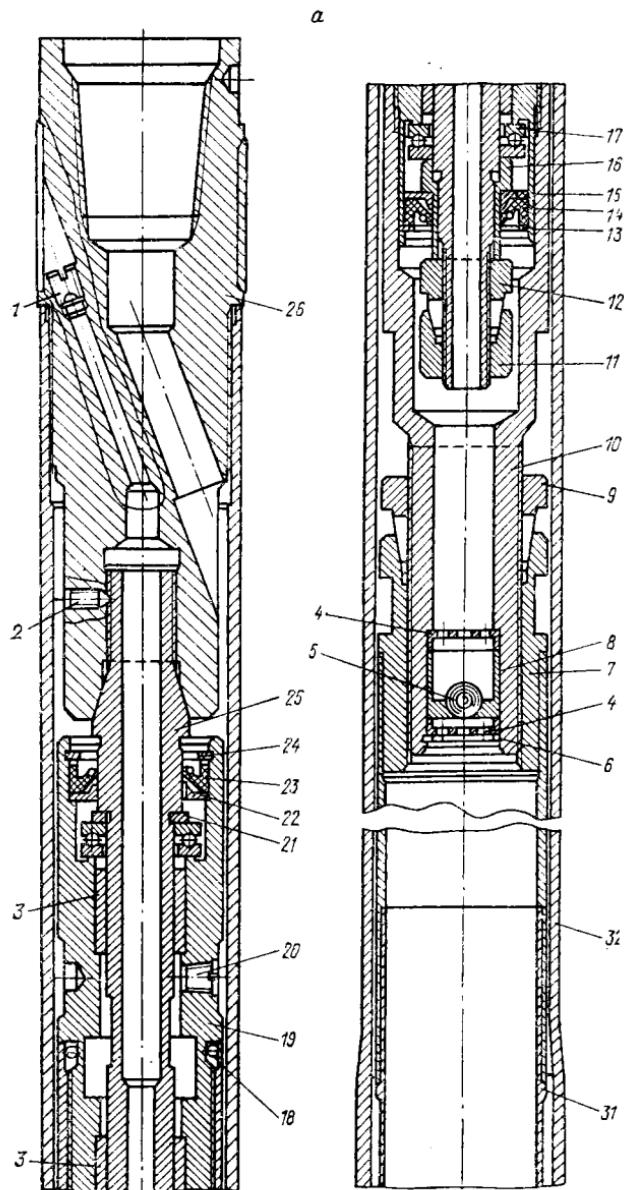
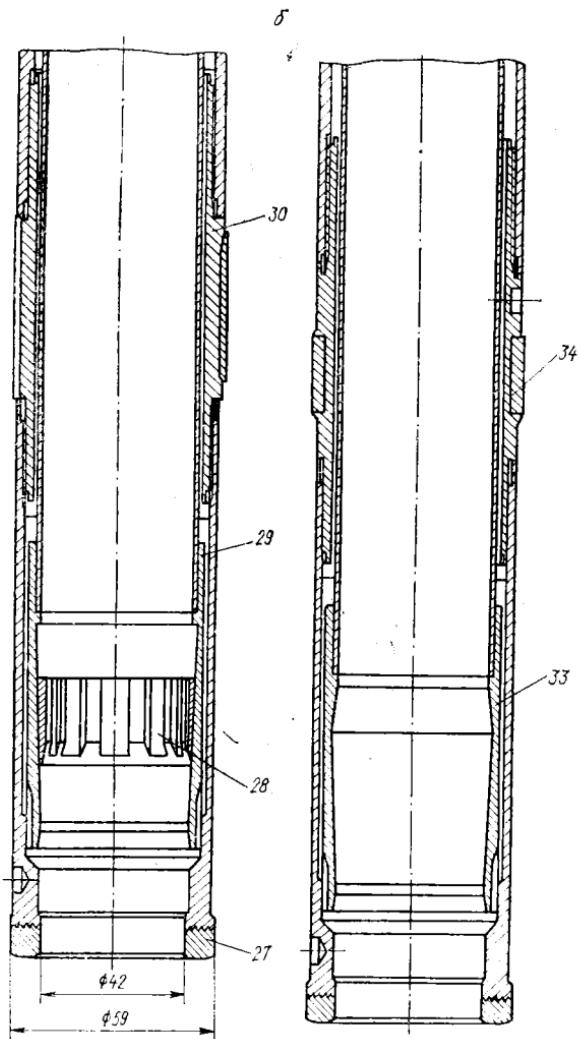


Рис. 7-8. Двойная колонковая труба типа ТДН-УТ конструкции ВИТР.
 а-б — компоновка трубы: а — с твердосплавным расширителем; б — с алмазным расширителем;
 1 — пробки; 2 — винт; 3 — втулки; 4 — фильтр; 5 — шарик; 6, 13, 18, 24 — кольца;
 23 — манжеты; 15 — упор; 16 — втулка упорная; 17 — подшипник; 19 — обойма;
 21 — коронка алмазная; 28 — кольцо рватальное; 29 — корпус рвателя;
 30 — расширитель твердосплавный; 31 — корпус трубы.

посадка на опорное кольцо колонкового набора фиксируется характерным щелчком, который передается по буровой колонне с глубины 200 м; для уверененной посадки керноприемника рекомендуется досылать его к забою потоком промывочной жидкости. Момент посадки фиксируется по увеличению давления на манометре насоса.



ширителем.

7 — труба внутренняя; 8 — стакан; 9, 11 — контргайки; 10 — переходник; 12 — гайка; 14 — шайба; 22 — упор, 25 — вал подшипникового узла; 26 — переходник износостойкий; 27 — досплавный; 31 — стакан; 32 — труба наружная; 33 — кернодержатель; 34 — расшири-

Таблица 7-4

Техническая характеристика двойных колонковых труб ТДН-УТ

Параметр	Диаметр снаряда, мм		
	46	59	76
Диаметр алмазной коронки, мм:			
наружный	46	59	76
внутренний	31	42	58
Размеры наружной колонковой трубы, мм:			
наружный диаметр	44	57	73
толщина стенки	3,5	3,5	3,5
Размеры внутренней керноприемной трубы, мм:			
наружный диаметр	35	48	63
толщина стенки	1,2	2,0	1,5
Длина набора	4500	4500	4500

Снаряд ССК имеет сигнализатор самозаклинивания керна, составленный из набора резиновых манжет и стальных шайб. В зависимости от типа горных пород усилие срабатывания сигнализатора устанавливается в пределах от 250 до 400 дан изменением набора манжет и шайб. Нижний предел срабатывания — для слабых и разрушенных горных пород, верхний — для

Таблица 7-5

Техническая характеристика снарядов со съемными керноприемниками

Параметр	Тип и диаметр снаряда				
	КССК-76-1200	КССК-76-2000	ССК-46	ССК-59	ССК-76
Глубина бурения, м	1200	2000	1000	1200	1200
Категория пород по бури- мости	V—IX	V—IX	VII—X	VII—X	VII—X
Наружный диаметр корон- ки, мм	76	76	46	59	76
Диаметр керна, мм	40	40	24	35,4	48
Диаметр бурильной колон- ны, мм:					
наружный	70	70	43	55	70
внутренний	60	60	33,4	45,4	60,4
Соединение бурильных труб	Муфтовое				Труба в трубу
Общая длина колонкового набора, мм	6845	6845	2350	2450	2700
			3850	3950	4200
			5760*	5450	—
Ресурс, тыс. м	—	—	10,0	8,0	7,5

* Сращивание двух труб.

Рис. 7-9. Снаряд со съемным керноприемником ССК.

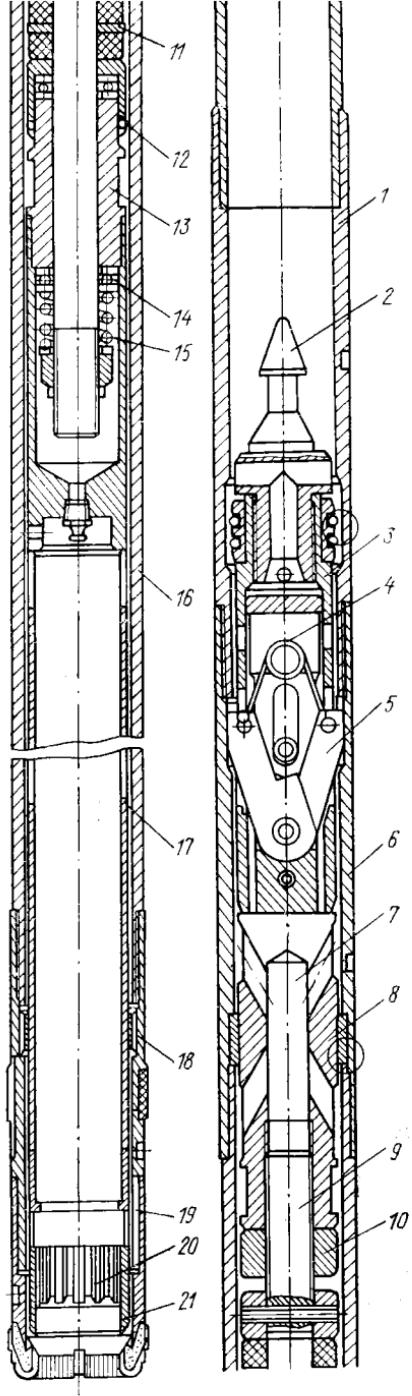
1 — релитовый переходник; 2 — головка подшипникового узла; 3 — возвратная втулка; 4 — пружина; 5 — стопоры; 6 — переходник наружной колонковой трубы; 7 — подшипниковый узел; 8 — опорное кольцо; 9 — вал; 10 — контргайка; 11 — резиновые манжеты; 12 — резиновое кольцо; 13 — направляющая втулка; 14 — упорный шарикоподшипник; 15 — пружина; 16 — наружная колонковая труба; 17 — керноприемная труба; 18 — стабилизатор; 19 — упорное кольцо; 20 — керновательное кольцо; 21 — корпус кернорватаеля.

твердых трещиноватых. Техническая характеристика снарядов со съемными керноприемниками ССК и КССК приводится в табл. 7-5.

Режимы бурения снарядами со съемными керноприемниками рекомендуется выбирать на основе соответствующих инструктивных указаний по технологии бурения скважин снарядами со съемными керноприемниками.

При бурении в породах второй группы с успехом могут применяться двойные колонковые трубы и эжекторные снаряды, рекомендуемые для бурения пород первой группы. Для повышения технико-экономических показателей бурения в породах второй группы и повышения выхода керна в комплект колонкового набора наряду с двойными трубами и эжекторными снарядами могут вводиться высокочастотные гидроударные машины типа ГВ конструкции СКБ Мингео СССР.

Бурение пород второй группы производят на пониженных частотах вращения (до 700 мин^{-1}) бурового снаряда. При этом обязательно применение антивибрацион-



ных средств и соосных калиброванных снарядов. Промывка может осуществляться глинистыми растворами нормальной и повышенной вязкости и технической водой. При бурении растворимых и растапляемых пород применяются промывочные жидкости специального состава.

Срыв керна в породах данной группы осуществляется кернорвателями специальных конструкций, обеспечивающими надежный захват и удержание керна при подъеме из скважины.

Отбор керна в горных породах третьей группы. Горные породы третьей группы характеризуются средним выходом керна (40—60 %), крайним разнообразием как по своим геологическим характеристикам (состав, строение, генезис), так и по физико-механическим свойствам (твердость, абразивность, трещиноватость и т. д.). Разнообразное сочетание перечисленных признаков определяет выход керна около 40—60 % при бурении одинарными колонковыми снарядами диаметром 59 мм.

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

двойные колонковые трубы (ТДН-0, ТДН-2, ТДН-УТ);
снаряды со съемными керноприемниками (ССК и КССК);
эжекторные снаряды (ДЭС);
специальные эжекторные снаряды (ГРЭС).

При бурении горных пород II—VI категорий, неоднородных по строению, среднетрещиноватых применяются двойные колонковые трубы ДонбассНИЛ-І, II. В исключительных случаях, при решении второстепенных геологических задач, в монолитных и слаботрещиноватых комплексах вмещающих пород допускается применение одинарных колонковых снарядов.

При использовании одинарных колонковых снарядов внутреннюю поверхность колонковой трубы в целях снижения коэффициента трения при продвижении кернового материала рекомендуется покрывать смазывающими добавками, не влияющими на достоверность опробования полезного ископаемого.

При бурении одинарными колонковыми снарядами в породах этой группы допускаются следующие минимальные диаметры бурения, мм: при алмазном способе—59, при твердо-сплавном — 76.

Существенное значение для сохранения керна имеет количество и состав промывочной жидкости, в качестве которой используются техническая вода, глинистые растворы нормальной вязкости и пониженной водоотдачи, безглинистые и специальные растворы. Обязательно применение антивibrационных средств (антивибрационные смазки, эмульсолы).

Для повышения выхода керна при бурении горных пород третьей группы (за исключением разведки на стройматериалы

и для инженерных изысканий) в комплекте с двойными и эжекторными колонковыми снарядами некоторыми исследователями рекомендуется применять высокочастотные гидроударные машины типа ГВ. Однако следует иметь в виду, что при разведке месторождений стройматериалов, при инженерно-геологических изысканиях и ряде других работ при алмазном способе бурения введение в комплект колонкового снаряда гидроударных машин нецелесообразно, 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 съемными керноприемниками рекомендуется применять оптимальные частоты вращения, при бурении одинарными колонковыми снарядами следует применять пониженные частоты (до 500 мин⁻¹). Заклинивание керна производится только специальными кернорвателями.

Отбор керна в горных породах четвертой группы. Горные породы четвертой 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.

В связи с этим для бурения монолитных и слаботрещиноватых пород четвертой группы в большинстве случаев применяются одинарные колонковые снаряды. И только для бурения неоднородных по составу и строению, слабосвязных пород средней трещиноватости необходимо применение специальных технических средств:

— двойных колонковых труб ТДН-2, ТДН-УТ, комплексов ССК в породах VII—XII категорий (ТДН-2 при промывке глинистым раствором, ТДН-УТ и ССК — водой);

— снарядов со съемными керноприемниками ССК и КССК в породах IV—IX категорий по буримости.

При бурении двойными колонковыми трубами и снарядами со съемными керноприемниками технологические параметры режима бурения выбираются оптимальными для данного технического средства. Ограничение частоты вращения по геологическим характеристикам пород четвертой группы не вызывается необходимостью. В качестве промывочной жидкости при бурении твердых горных пород данной группы обычно применяется техническая вода, а при бурении мягких пород — глинистые растворы нормальной вязкости, безглинистые и специальные растворы.

При бурении одинарными колонковыми снарядами однородных пород средней и высокой твердости принимаются меры по снижению уровня поперечных вибраций бурового снаряда (соосные снаряды, антивибрационные средства и т. д.), так

как данный вид вибраций в этих породах является определяющим фактором разрушения керна.

При бурении перемежающихся по твердости и мягких пород существенно важным фактором является режим промывки, поэтому следует постоянно контролировать расход промывочной жидкости по показаниям расходомера или по выходящей струе из скважины. Излишний расход промывочной жидкости приводит к повышенному износу керна, недостаток промывочной жидкости может привести к прижогу породоразрушающего инструмента.

Для высоких рейсовых скоростей при бурении монолитных и слаботрециноватых пород длина колонковой трубы может быть равна 7—9 м, что достигается применением спаренных колонковых труб. При этом внутренний диаметр соединительного ниппеля должен обеспечивать свободный проход керна.

При возникновении самозаклиниваний керна при бурении пород этой группы ликвидация самозаклиниваний возможна сменой частоты вращения и осевой нагрузки на инструмент без отрыва колонкового снаряда от забоя.

Для повышения технико-экономических показателей бурения и выхода керна в ряде случаев при бурении пород четвертой группы допускается применение гидроударных машин типа ГВ (гидроударник высокочастотный) для алмазного бурения и унифицированных гидроударных машин типа Г.

Отбор керна в горных породах пятой группы. Горные породы пятой группы характеризуются высоким выходом керна (80—100%). Данная группа представлена в основном однородными по составу и строению, монолитными или среднетрециноватыми горными породами различного генезиса. Как исключение, в группу включены монолитные неоднородные по составу мелко- и тонкозернистые породы на слабом цементе. По геологическим и физико-механическим свойствам для бурения пород пятой группы применение специальных технических средств не требуется.

Для повышения технико-экономических показателей бурения в среднетрециноватых горных породах, склонных к самозаклиниванию, применяются двойные колонковые трубы типа УТ и снаряды со съемными керноприемниками (ССК).

При бурении трубами ТДН-УТ и снарядами ССК горных пород пятой группы частоту вращения бурового снаряда допускается применять максимально возможную при данной мощности привода. Осевая нагрузка на инструмент принимается оптимальной для данного типа применяемых средств, обеспечивающих получение максимальных технико-экономических показателей.

Одинарные колонковые снаряды обеспечивают кондиционный выход керна практически во всех геологических комплекс-

сах пород, входящих в данную группу. При бурении одинарными колонковыми снарядами твердых и весьма твердых пород основным разрушающим фактором кернообразования является вибрация бурового снаряда. В связи с этим обязательно применение антивибрационных средств и соосных компоновок колонковых снарядов. Частота вращения бурового снаряда не ограничивается.

В качестве промывочной жидкости применяют техническую воду или спецрастворы с эмульгирующими добавками и при этом четко контролируют их расход во избежание перегрева и прижога алмазного породоразрушающего инструмента и керна.

Для обеспечения высоких технико-экономических показателей при кондиционном выходе керна весьма эффективно применение алмазных коронок с уменьшенной толщиной матрицы и торцом полукруглой формы. При бурении твердых пород средней степени трещиноватости частота вращения одинарного колонкового снаряда с алмазной коронкой ограничивается $700-1000 \text{ мин}^{-1}$. При бурении мягких пород во избежание размывания керна особое внимание уделяется расходу промывочной жидкости, который в этом случае поддерживается на минимальном уровне, обеспечивающем нормальную очистку забоя от шлама. Обязательно применение антивибрационных средств.

Для повышения технико-экономических показателей бурения в породах пятой группы, так же как в третьей и четвертой группах, можно рекомендовать применение гидроударных машин типа ГВ. Однако при этом следует учитывать, что применение гидроударных машин в комплекте с алмазными коронками существенно снижает качество керна, повышая степень его дробления.

Таким образом, основными критериями выбора специальных технических средств для отбора керна в различных группах горных пород являются требования, включающие физико-механические и геологические характеристики конкретных горных пород и горно-геологических условий, а также особенности конструкции данного технического средства и технико-экономические показатели его применения.

Однако указанные критерии не учитывают некоторые специфические процессы и явления, сопровождающие процесс кернообразования при бурении глубоких (свыше 1500 м) скважин. В связи с этим представляется настоятельно необходимым изучить особенности отбора керна на больших грубинах, с тем чтобы применяемые технические средства в любых случаях обеспечивали высокое качество отбираемых керновых проб.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА КЕРНООБРАЗОВАНИЯ НА БОЛЬШИХ (СВЫШЕ 1500 М) ГЛУБИНАХ

Влияние глубины скважины на процесс формирования керна. Модель кернообразования, основные положения которой изложены в работе [59], а также в пятой главе настоящей работы, позволяет проследить развитие процесса износа керна в керноприемной трубе в нормализованных условиях геологоразведочного бурения. При этом факторы, влияющие на формирование и износ керна в указанных нормализованных (средних) условиях, подчиняются распределению по группам, приведенным в классификации факторов кернообразования. В указанной классификации глубина залегания пород как фактор процесса кернообразования включена в третью группу, т. е. отнесена к факторам, оказывающим влияние на формирование и износ керна в керноприемной трубе только в специфических условиях. Однако совершенно очевидно, что при проведении исследований по технологии отбора керна с глубоких горизонтов скважин и оценке процесса кернообразования на больших глубинах бурения фактор глубины залегания пород является одним из доминирующих. При этом особенно важно установить влияние специфических особенностей процесса кернообразования, обусловленных проведением бурения на глубоких (свыше 1500 м) горизонтах скважин, на общий выход керна и на качество керновых проб. К таким особенностям, в частности, можно отнести следующие:

- влияние собственно глубины залегания пород на качество керновых проб;
- процесс дискования керна на больших глубинах бурения;
- влияние искривления трасс скважин на характер работы специальных технических средств для отбора керна и на процесс кернообразования;
- влияние температурных условий призабойной зоны на работу алмазного породоразрушающего инструмента и специальных технических средств.

Опыт бурения глубоких скважин показывает, что по мере увеличения глубины скважины приобретает все большее значение горное давление. Проявление его состоит в том, что в столбике керна при его выбуривании из массива, находящегося в состоянии всестороннего сжатия, происходит перераспределение напряжений и возникают растягивающие напряжения, в результате чего возможно нарушение монолитности керна. В свою очередь это приводит к ухудшению условий сохранности керна в колонковой трубе.

Предельная глубина скважины, с которой может быть поднят монолитный керн, может быть определена, по О. Ю. Бергштейну, следующим выражением:

$$L_{kp} = [\sigma_p] / (-0,045\gamma_{jk} - 0,39\lambda + 0,1\gamma_n), \quad (7-1)$$

где $[\sigma_p]$ — предел прочности породы на растяжение, МПа; γ_{jk} — плотность промывочной жидкости, г/см³; γ_n — средняя плотность массива горных пород, г/см³; λ — коэффициент бокового давления.

Коэффициент λ можно определить из выражения

$$\lambda = v / (1 - v), \quad (7-2)$$

где v — коэффициент Пуассона, равный для большинства кристаллических пород 0,27—0,33.

По приведенным формулам можно рассчитать критические глубины отбора монолитного керна для горных пород, плотность которых превышает 2,25 г/см³. Результаты расчета крити-

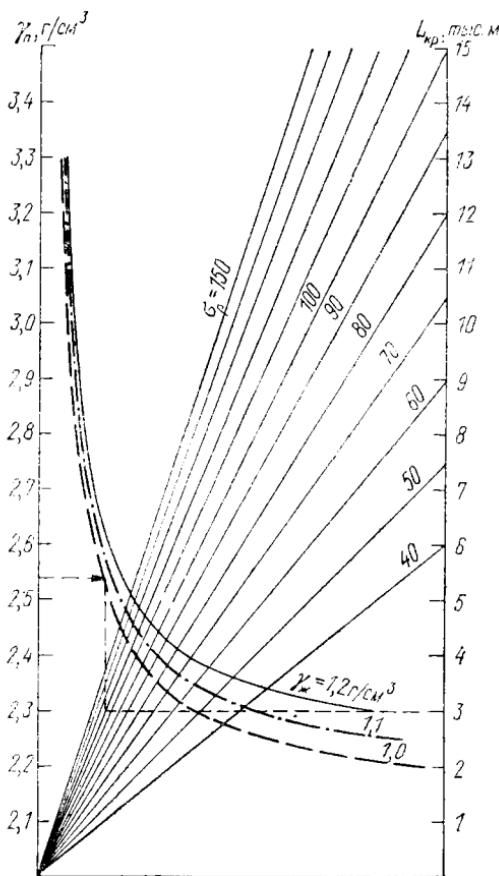


Рис. 7-10. Номограмма для определения критической глубины получения неизмененного керна для пород с $\gamma_n \geq 2,25$ г/см³.

Таблица 7-6

**Расчет критических глубин отбора монолитного керна
для некоторых горных пород ($\lambda = 0,43$)**

Горная порода	Плотность породы, г/см ³	σ_p , даН/см ²	Критическая глубина при плотности промывочной жидкости $\gamma_{ж}$, г/см ³		
			1,0	1,1	1,2
Андиниты	2,68	58	1055	1150	1240
Граниты мелко-зернистые	2,54—2,78	120	2000—1850	3300—2000	3750—2150
Диабазы	2,25—2,62	134	2000—1650	3000—1730	3350—1540
Габбро	2,76—3,27	135	2140—1120	2300—1230	2500—1880
Граниты средне-зернистые	2,54—2,78	143	2200—3420	2370—3800	2560—4470
Сиениты	2,57—2,79	143	2170—3230	2330—3620	2510—4020
Кварциты	2,64	144	2830	3100	3430
Песчаники	2,58	100	2220	2630	2780
Сланцы песчаные	2,65	73	1400	1620	1700
Сланцы песчано-глинистые	2,65	68	1310	1510	1580
Сланцы глинистые	2,65	63	1210	1400	1465
Хлорит-биотитовые сланцы	2,34	100	4760	6250	8330
Джеспилиты	2,65	478	9190	10 170	11 115
Роговики	2,57	247	5600	6 330	7 060
Мартитовые руды: исключительно рыхлосвязанные	3,6	15	100	105	110
рыхлосвязанные частично сцепленные	3,64	28	185	190	200
сцепленные сцепленные интенсивно сцепленные	3,71	40	255	260	270
	4,22	78	370	380	390
	3,82	155	920	945	970

ческих глубин отбора монолитного керна для некоторых однородных монолитных пород приводятся в табл. 7-6.

Для оперативной оценки критической глубины скважин рекомендуется использовать разработанную авторами номограмму определения критической глубины получения ненарушенного керна (рис. 7-10).

Результаты определения критической глубины скважин показывают, что нарушение первичной структуры керна в резуль-

тате воздействия горизонтальной составляющей горного давления для некоторых литологических разностей пород наступает уже в интервалах глубин бурения 1000—2000 м. В настоящее время на ряде месторождений полезных ископаемых скважины геологоразведочного бурения достигают глубин 2500—3000 м, т. е. уходят за пределы критических глубин получения ненарушенного керна, и практика геологоразведочных работ подтверждает полученные теоретические выводы. Примерами проявления горного давления на больших глубинах бурения могут служить стреляющие аргиллиты Норильского медно-никелевого месторождения, дробленые аргиллиты Донецкого каменноугольного бассейна и т. д.

В связи с этим для решения геологических задач, связанных с необходимостью получения ненарушенного керна и сохранения его структуры с некоторых критических глубин, необходимо обеспечить максимальную защиту его от воздействия горизонтальной составляющей горного давления как в процессе формирования керна на забое скважины, так и при подъеме его на поверхность.

Исследование процесса дискования керна. При бурении глубоких (свыше 1500 м) скважин физическое состояние керновых проб определяется не только геологическими признаками разбуриваемых пород (физико-механические свойства, структурно-текстурные особенности, отдельность, трещиноватость) и уровнем применяемой техники и технологии бурения, но также напряженным состоянием этих пород. Практика буровых работ показывает, что при бурении геологоразведочных скважин наблюдается специфическая нарушенность керна с ростом глубины бурения. Получаемый керн часто представлен дробленым материалом или образованиями в виде дисков различной толщины. К настоящему времени известны многочисленные исследования напряженного состояния нетронутого массива [5, 6, 7, 8 и др.], в результате которых установлено, что поле нетронутого массива уже на глубине 600 м неоднородно. Отмечаются как сжимающие так и растягивающие напряжения, причем их значения по скважинам значительно варьируют и их вертикальные составляющие значительно меньше горизонтальных.

В СССР и за рубежом проведены многочисленные натурные измерения методом разгрузки [60, 61], в результате которых в массивах скальных пород обнаружены горизонтальные сжимающие напряжения. Последние на 10—15 даН/см² выше гидростатического давления p , соответствующего весу пород. Предполагается, что избыточные горизонтальные напряжения, значительно превышающие геостатическое (гидростатическое) давление, имеют тектоническое происхождение. В целом по имеющимся данным сделан вывод, что избыточные напряжения

охватывают так называемый гранитный слой или складчатый и кристаллический фундамент земной коры в самых различных районах. Они почти отсутствуют в осадочном чехле и в трещиноватых разностях массивных пород.

Сложно-напряженное состояние разбуриваемого массива пород и связанное с ним физическое состояние получаемой керновой пробы поставили проблему изучения явления «дискования керна» при бурении глубоких скважин. К настоящему времени известно достаточно большое число исследований, посвященных этим вопросам.

Из последних работ, опубликованных в печати, наибольший интерес представляют выполненные во ВНИМИ экспериментальные исследования дискования керна в процессе выбуривания отверстий в крупногабаритных образцах горных пород и руд при различных видах и уровнях напряженного состояния (от одноосного до гидростатического), различной ориентации скважины и других факторов. Распределения напряжений на торце выбуриваемой скважины и на забое обуруиваемой щели исследовалось оптико-поляризационным методом. В этих экспериментальных работах была показана функциональная зависимость между высотой столбиков (толщиной дисков) получаемого керна, его диаметром и отношением предела прочности разбуриваемой породы на одноосное сжатие к максимальному напряжению в массиве:

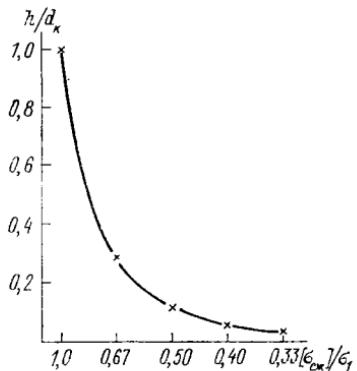
$$h/d_k = f(\sigma_1 [\sigma_{ск}]),$$

где h — толщина дисков; d — диаметр керна; $[\sigma_{ск}]$ — предел прочности на одноосное сжатие; σ_1 — максимальное напряжение.

Оценка напряженного состояния пород при ориентации контрольных скважин эксперимента в направлении действия минимальных напряжений соответствует наиболее часто встречающемуся в практике буровых работ случаю, при котором напряжения σ_1 превосходят горизонтальные напряжения σ_2 . При этом по мере возрастания максимального напряжения σ_1 и соответственно возрастания соотношения $\sigma_1/[\sigma_{ск}]$ толщина дисков начинает уменьшаться и при значениях $\sigma_1 = (1,7 \div 2,0)$ $[\sigma_{ск}]$ появляются так называемые неполноценные диски, площадь которых меньше площади поперечного сечения керна. По мере возрастания максимального напряжения σ_1 выше 2,0 $[\sigma_{ск}]$ происходит уменьшение толщины неполноценных дисков при одновременном уменьшении площади их сечения (буровая мелочь). Наиболее крупные фракции буровой мелочи имеют вид лепестков неправильной формы.

Фактический выход буровой мелочи $V_{б.м}$ начинает превышать номинальный объем V_n отдельных дисков керна при

Рис. 7-11. Зависимость толщины дисков керна от соотношения $[\sigma_{сж}]/\sigma_1$ для любого диаметра бурения.



$\sigma_1 \geq 2,0$ [$\sigma_{сж}$]. Между соотношениями σ_1 [$\sigma_{сж}$] и $V_b.m/V_n$ устанавливается зависимость близкая к линейной в интервале $\sigma_1 = (2,0 \div 4,0)$ [$\sigma_{сж}$]. И наконец, при $\sigma_1 \approx 4$ [$\sigma_{сж}$] керновый материал практически полностью разрушается, приобретая вид буровой мелочи.

Основываясь на экспериментальных данных и на практическом опыте геологоразведочного бурения, для предварительного прогноза степени дробления керна в зависимости от отношения максимального напряжения σ_1 к предельным допустимым напряжениям на одноосное сжатие [$\sigma_{сж}$] можно использовать предлагаемую авторами формулу:

$$h = d_k ([\sigma_{сж}]/\sigma_1)^K, \quad (7-3)$$

где K — эмпирический коэффициент ($K=3,0$).

Для оперативного прогноза степени дробления керна результаты расчета по вышеприведенной формуле показаны на графике зависимости толщины дисков керна от отношения $[\sigma_{сж}]/\sigma_1$ для любого диаметра бурения (рис. 7-11).

Анализ приведенного графика показывает, что:

- при значениях σ_1 , не достигающих предельных напряжений на сжатие [$\sigma_{сж}$], фактор глубины скважины практически не оказывается на структурных характеристиках керновой пробы;
- при значениях σ_1 , равных $(1,0 \div 3,0)$ [$\sigma_{сж}$], следует учитывать степень дробления керна, вызываемую воздействием горизонтальной составляющей горного давления;
- при значениях σ_1 выше 3,0 [$\sigma_{сж}$] необходимо принимать специальные меры по сохранению структурных характеристик кернового материала.

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ОТБОРА КЕРНА, ПОЗВОЛЯЮЩИЕ МАКСИМАЛЬНО СОХРАНЯТЬ СТРУКТУРУ ПОРОДЫ

В разделе приведены сведения о работах ВИТР в области конструирования новых технических средств для отбора керна. Выполненный в последние годы комплекс теоретических и экспериментальных исследований по изучению процесса образования керна и технологии его отбора при бурении позволил выявить основные принципы защиты керна от воздействия отрицательных факторов кернообразования. На основе этих принципов разработаны новые двойные колонковые снаряды ТДН-ССК (труба двойная с неподвижной внутренней трубой на базе ССК), ТДН-РК (труба двойная с неподвижной внутренней керноприемной трубой, керноприемная труба разрезная)

Таблица 7-7

Техническая характеристика двойных колонковых снарядов

Параметр	Тип и диаметр снаряда		
	ТДН-76-РК	ТДН-59-ССК	ТДН-93/76-СК
Диаметр коронки, мм:			
наружный	76,0	59,0	93,0
внутренний*	48,0	35,4	54,0
Диаметр наружной трубы, мм:			
наружный	73,0	56,0	89,0
внутренний	65,5	45,0	81,5
Диаметр внутренней трубы, мм:			
наружный	57,0	42,0	73,0
внутренний	49,5	37,0	65,5
Диаметр керноприемной трубы**, мм:			
наружный	—	—	60,0
внутренний	—	—	55,0
Толщина стенки трубы, мм:			
наружной	3,75	5,5	3,75
внутренней	3,75	2,5	3,75
керноприемной	—	—	2,50
Общая длина трубы, мм	3200	3841	2498
Длина керноприемной части, мм	2750	3195	2055
Масса трубы, кг	40	37,1	40
Присоединительная резьба к колонне бурильных труб	3—50	3—42	3—50
	ГОСТ 7918—75		ГОСТ 7918—75

* Внутренний диаметр указан для второй керноформирующей коронки, т. е. диаметр керна.

** В двойных колонковых трубах ТДН-76-РК и ТДН-59-ССК в качестве керноприемной служит внутренняя труба.

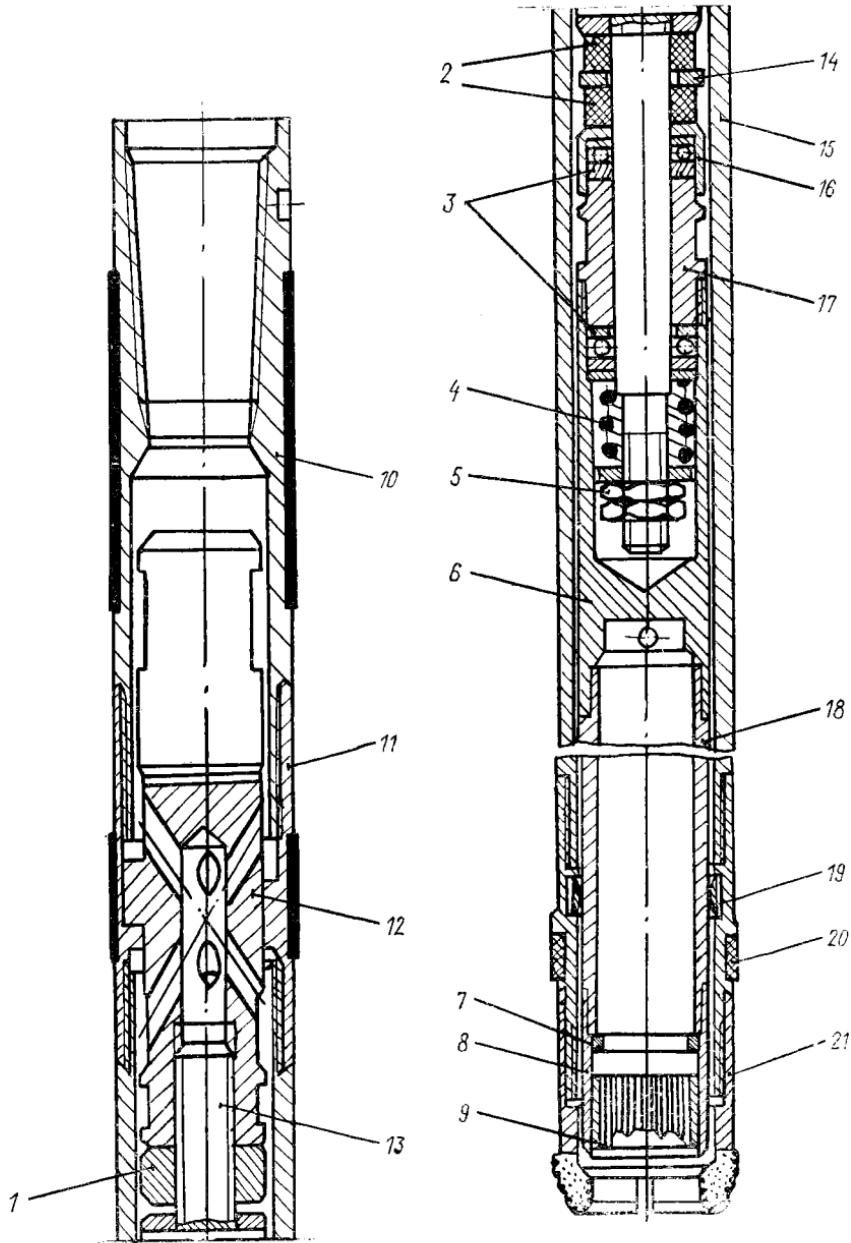


Рис. 7-12. Двойная колонковая труба ТДН-59-ССК.

1, 17 — муфты; 2 — манжеты; 3 — упорные подшипники; 4 — пружина; 5 — регулировочная гайка; 6 — головка; 7 — упорное кольцо; 8 — рватель; 9 — рвательное кольцо; 10, 11 — переходники, армированные твердым сплавом; 12 — втулка; 13 — вал; 14 — шайба; 15 — наружная труба; 16 — обойма; 1, 17 — муфты; 18 — кернопропенная труба; 19 — стабилизатор; 20 — алмазный расширитель; 21 — алмазная коронка.

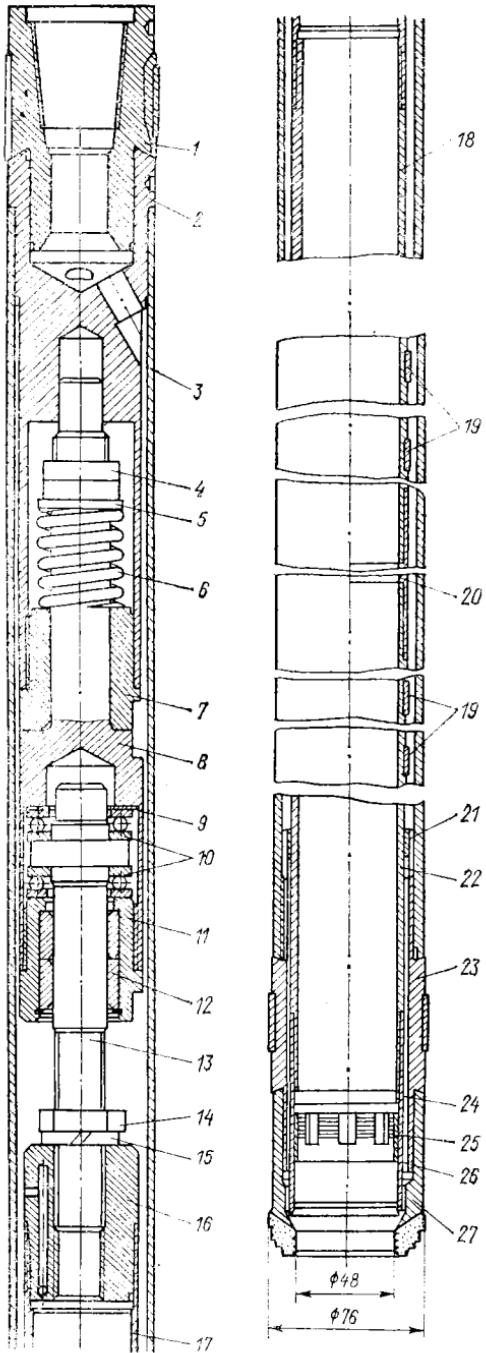
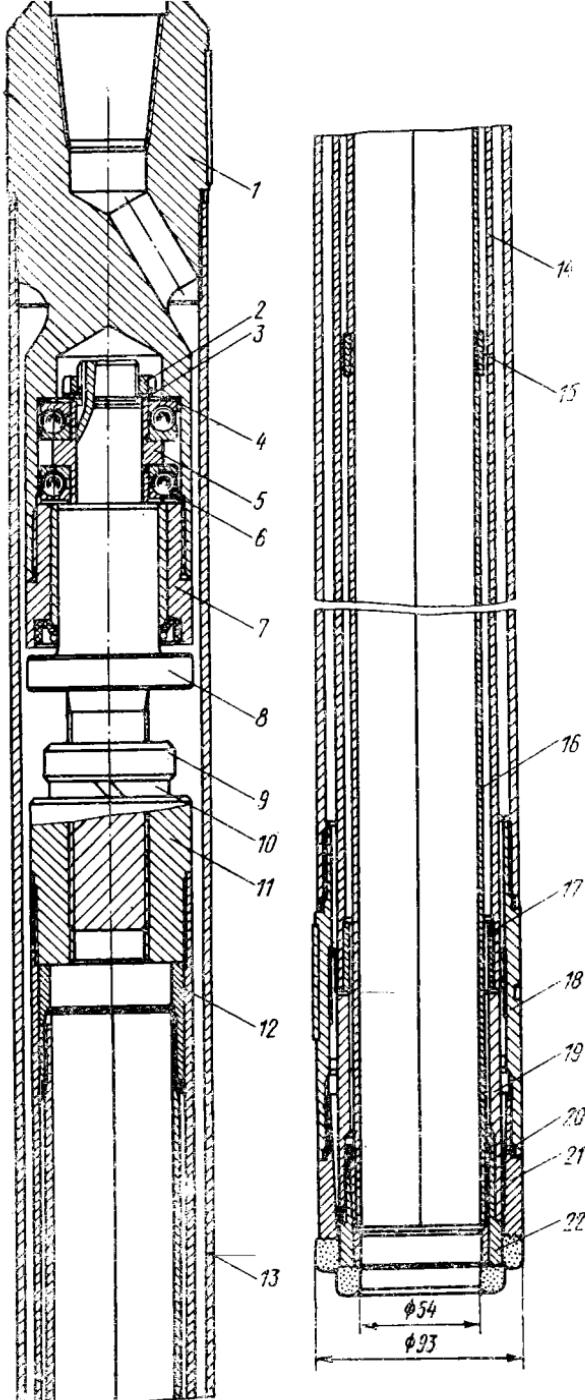


Рис. 7-13. Двойная колонковая труба ТДН-76 РК:

1 — переходник износостойкий; 2 — переходник; 3 — труба наружная; 4, 14 — гайки; 5 — шайба; 6 — пружина; 7, 16 — муфты; 8 — корпус; 9 — прокладка; 10 — шарикоподшипники упорные; 11 — обойма; 12 — подшипник скольжения; 13 — вал; 15 — шайба пружинная; 17, 20 — муфты соединительные; 18, 22 — трубы керноприемные; 19 — кольцо пружинное; 21 — стабилизатор; 23 — упорное; 24 — кольцо упорное; 25 — кольцо рвательное; 26 — корпус рвателья; 27 — коронка алмазная.

Рис. 7-14. Двойная колонковая труба ТДН-93/76-СК.

1 — переходник; 2, 9 — гайки; 3 — шайба стопорная; 4 — прокладка; 5, 19 — втулки; 6 — шарикоподшипник упорный; 7 — подшипник скольжения; 8 — вал; 10 — шайба пружинная; 11 — муфта; 12 — муфта верхняя; 13, 14, 16 — трубы; 13 — наружная, 14 — внутренняя, 16 — керноприемная; 15 — кольцо пружинное; 17 — стабилизатор; 18 — расширитель твердосплавный; 20 — муфта коническая; 21, 22 — алмазные коронки.



и ТДН-93/76-СК (труба двойная с неподвижной керноприемной трубой, керноприемная труба разрезная и съемная), обеспечивающие максимальную защиту керна и соответственно получение кондиционного его выхода в особо сложных геологических условиях (табл. 7-7).

Унифицированная двойная колонковая труба ТДН-59-ССК (рис. 7.12) разработана на базе снаряда со съемным керноприемником ССК-59 и предназначена для применения при колонковом алмазном бурении скважин коронками диаметром 59 мм. Областью применения двойной колонковой трубы ТДН-59-ССК является бурение монолитных, слабо- и среднетрещиноватых горных пород VIII—IX категорий по буримости.

Двойная колонковая труба ТДН-76-РК (рис. 7-13) создана на базе проведенных теоретических и экспериментальных исследований и с учетом принципов, заложенных в конструкции двойных колонковых труб типа ТДГР-76, которые разработаны в НРБ. Областью применения двойных колонковых труб ТДН-76-РК является бурение сильнотрещиноватых, раздробленных горных пород VIII—XII категорий по буримости. Отличительной конструктивной особенностью указанных труб является наличие в составе снаряда разрезной керноприемной трубы, что позволяет существенно снизить число и значения усилий самозаклиниваний керна в процессе бурения.

Двойная колонковая труба ТДН-93/76-СК (рис. 7-14) является специфической модификацией двойной колонковой трубы типа ТДН-93-2/0. Областью применения ТДН-93/76-СК является бурение перемежающихся сильнотрещиноватых, раздробленных и слабых, склонных к размыванию горных пород V—IX категорий по буримости. Отличительной особенностью трубы ТДН-93/76-СК является наличие свободно извлекаемой невращающейся в процессе бурения разрезной керноприемной трубы и двух ступенчато расположенных алмазных коронок. Благодаря этому керн не имеет прямого контакта с промывочной жидкостью при бурении и при подъеме на поверхность, извлекается путем прямого раскрытия керноприемной части без ударов, что позволяет максимально сохранить его структуру.

Новые технические средства для отбора керна, разработанные ВИТР на основе теоретических и экспериментальных исследований с учетом выявленных принципов защиты керна от воздействия отрицательных факторов кернообразования, позволили обеспечить кондиционный выход керна высокого качества в особосложных геологических условиях важнейших месторождений страны.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ОТБОРА КЕРНА НА РАЗЛИЧНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

Широкий арсенал специальных технических средств для отбора керна, применяемых в настоящее время при геологоразведочном бурении на различных месторождениях страны, позволяет в той или иной мере решать вопросы обеспечения кондиционного выхода керна. При этом технико-экономические показатели применения технических средств весьма различны при использовании их в конкретных горно-геологических условиях геологических формаций.

В настоящем разделе приведены наиболее характерные примеры практического применения специальных технических средств для отбора керна при разведке отдельных месторождений страны.

Криворожский железорудный бассейн. К особенностям геологического строения Криворожского бассейна, обуславливающим трудности получения кондиционного выхода керна при перебуривании рудных зон, можно отнести широкое распространение очень крепких пород XI–XII категорий по буримости, наличие в породах сложной, неравномерно развитой системы трещин, особенно в породах верхней и средней свит; частую перемежаемость пород по твердости, крутое падение пластов, наличие зон поглощения промывочной жидкости, наблюдавшихся на всех глубинах, и т. д.

Для обеспечения кондиционного выхода керна при бурении скважин, особенно глубоких (свыше 1500 м), в Кривбассе использовался комплекс специальных технических средств как серийного выпуска, так и экспериментальных конструкций, и в том числе двойные колонковые снаряды типа ТДН-59-ССК и ТДН-76-РК. В табл. 7-18 представлены результаты отработки этих средств для отбора керна при бурении скважин по рудным зонам коронками диаметром 59 и 76 мм.

Анализ данных табл. 7-8 показывает, что при бурении рудных и предрудных зон, представленных сильно- и среднетрещиноватыми перемежающимися породами высокой твердости и рыхлыми мягкими породами, наилучшие результаты получены при применении двойных колонковых труб новых типов ТДН-59-ССК и ТДН-76-РК, которые при стablyно высоком выходе керна (свыше 80 %) обеспечивают высокую механическую скорость бурения за счет применения алмазных коронок со ступенчатым торцом матрицы, армированных алмазами высокого качества. Достигнутые результаты позволяют рекомендовать указанные трубы для широкого применения в Криворожском железорудном бассейне.

Медно-молибденовые месторождения Армении. Геологическое строение медно-молибденовых месторождений Армении характеризуется совокупностью складчатых форм и разрывных нарушений, сопровождающихся мощными зонами трещиноватости. Все это указывает на сложность горно-геологических условий геологоразведочных работ. Особую сложность создают зоны дробления разного состава гидротермалитов и трещиноватость горных пород, вызывающие поглощение промывочной жидкости, необходимость применения специальных растворов, самозаклинивание, истирание и размытие керна, повышенную вибрацию бурового снаряда и др. Особенно сложными условиями в этом районе отличаются участки распространения медно-молибденовых порфировых руд в кварцевых диоритах и гранодиоритах. Это в первую очередь относится к одному из месторождений, где в силу интенсивного развития раздробленности, растертости и гипергенных изменений пород 30–40 % ствола скважин приходится на зоны неустойчивых и размывающихся пород.

В верхних горизонтах месторождения развита зона окисления и выщелачивания общей мощностью 35–70 м. Выход керна по этой зоне с применением одинарных колонковых снарядов доходит до 10 %. До глубины 150–200 м (иногда до 300 м) прослеживаются весьма интенсивно трещиноватые, дробленые, различной степени гидротермально измененные, местами интен-

Таблица 7-5

Технико-экономические показатели работы специальных технических средств для отбора яerna на железнорудных месторождениях Киргизии

Типоразмер колонкового спарыда	Наименование, кг/пог.м	Породы		Выход яerna		Средняя механическая прочность, кг/м ²	Коэффициент использования коронок
		Наименование по Суримости	М	%	М		
Двойные колонковые спарыди новых конструкций: ТДН-59-ССК ТДН-76-РК	368,70 256,05	Руда Кварциты трещиноватые	IX-XI X-XI	310,91 210,49	84,33 82,20	1,55 1,79	0,81 0,75
Двойные колонковые спарыди серийные и местных конструкций: ТДН-К-1-76 ТДН-К-1-59 ТДН-2-59	45,2 425,3 129,5	Кварциты Руда Руда, кварциты	X-XI IX-VIII X-XI	34,4 289,1 107,7	76,1 68,8 83,2	1,74 0,95 1,16	0,65 0,40 0,37
ТДН-УТ-59	183,3	Руда, кварциты	»	135,8	74,1	1,15	0,48
Пастернак-59 Пастернак-76 УКН	84,7 42,0 58,4	Руда Руда Кварциты	VIII-IX » X-XI	65,21 29,8 43,8	77,0 71,0 75,0	0,55 0,42 2,00	0,20 0,29 0,40
Одинарные колонковые спарыди с коронками диаметром: 76 мм 59 мм	56,2 100,05	Руда Кварциты	IX-XI »	27,54 37,0	49,0 37,0	1,20 2,30	0,40 0,62
							02И3, И4ДП 02И3, И4ДП

Таблица 7-9

**Технико-экономические показатели работы специальных
технических средств для отбора керна на медно-молибденовых
месторождениях Армении**

Типоразмер колонкового снаряда	Объем бурения, м ³	Категория пород по бурильности	Выход керна, %	Средняя углубка за рейс, м	Средняя механическая скорость бурения, м/ч	Типы применяемых алмазных коронок
Опытные двойные колонковые снаряды новых конструкций: ТДН-93/76-СК	95,5	IV—VIII	89,0	1,72	2,59	15А3 СВ, РКС, МВС, ЗА
ТДН-76-РК	407,3	IV—IX	77,8	1,75	2,68	РКС, КАСК-4С
ТДН-59-ССК	2,3	VIII	21,7	1,15	1,50	К-01
Двойные колонковые снаряды, выпускаемые серийно: ТДН-76-0	84,4	VI—VIII	53,1	1,06	2,09	КДТ-0
ТДН-76-2	71,5	VI—IX	63,8	1,49	3,73	КДТ2-АК-1, МВС-1
ТДН-76-УТ	37,3	VIII—IX	45,2	2,19	2,09	КУТ, КУТИ
ТДН-59-УТ	19,1	VIII	46,0	2,39	2,29	КУТ, КУТВ
Одинарные колонковые снаряды (ОКС): ОКС-93	366,0	VI—IX	9,3	2,70	2,50	01А3, 02И3, 15А3
ОКС-76	244,0	»	10,1	2,51	2,34	15А3СВ, 01А3, 04А3

* Использованы одновременно две коронки, расположенные ступенчато.

сивно квазинизированные и пронизанные кварцевыми прожилками минерализованные породы. Выход керна в этих условиях при бурении обычными одинарными колонковыми трубами редко доходит до 30 %, составляя в среднем 10 %.

Сложные горно-геологические условия ведения буровых работ потребовали научно обоснованного подхода к выбору имеющихся и к созданию новых технических средств, к разработке технологии колонкового бурения с учетом специфических условий каждого конкретного объекта работ.

Получение кондиционного керна в сильнотрещиноватых породах является сложной задачей. Чем больше в разбуриваемой породе растертого размываемого материала, тем меньше выход керна. В ряде случаев горные породы пронизаны сетью трещин и микротрещин, и при разбуривании весь керновый материал превращается в массу обломков различного размера.

Для пород этих месторождений характерна интенсивная истираемость при неблагоприятно протекающих процессах бурения, например самозаклиниваниях керна. Обеспечение кондиционного выхода керна в указанных условиях представляет весьма сложную задачу.

'ВИТР' был апробирован целый комплекс специальных технических средств для отбора керна, в том числе и экспериментальные макеты новых типов двойных колонковых снарядов: ТДН-59-ССК, ТДН-76-РК, ТДН-93/76-СК. В табл. 7-9 приводятся результаты бурения двойными колонковыми трубами различных типов на медно-молибденовых месторождениях Армянской ССР. Анализ данных таблицы показывает, что кондиционный выход керна (70 % и выше) обеспечивается только при использовании экспериментальных образцов снарядов типов ТДН-76-РК и ТДН-93/76-СК.

Внедрение разработанных технических средств и новой технологии позволило обеспечить кондиционный выход керна (75 % и более), повысить производительность бурения на 41 %, снизить удельный расход алмазов на 33 %. Экономический эффект на 1 м бурения составил 11,8 руб.

Золоторудное месторождение Средней Азии. Золоторудное месторождение Средней Азии сложено широким комплексом осадочных и метаморфических пород, представленных известняками, песчаниками, сланцами, метаклазитами, кварцитами, брекчиями VII—X категорий по буримости. Рудные тела приурочены к тектонически ослабленным зонам, зонам окварцевания и сульфидной минерализации. Пространственное расположение рудных тел обуславливает заложение скважин по направлению, близкому к направлению естественной сланцеватости и трещиноватости пород, что в процессе бурения одинарными колонковыми снарядами приводит к интенсивному дроблению и разрушению керна.

Анализ кернового материала показывает, что разрушение керна протекает с образованием большого числа остроугольных частиц размерами $5 \times 2 \times 1$ см, и это способствует возникновению и интенсивному развитию процесса самозаклинивания керна при бурении.

Специфика геологических условий месторождения обусловливает сложности в обеспечении кондиционного выхода керна. На месторождении ранее применялись различные по конструкции специальные технические средства для отбора керна. В 1985 г. в этих условиях были апробированы

Таблица 7-10

Технико-экономические показатели работы специальных технических средств для отбора керна на золоторудном месторождении Средней Азии

Типоразмер колонкового снаряда	Объем бурения, м	Породы	Выход керна, %	Средняя углубка за рейс, м	Средняя механическая скорость бурения, м/ч	Типы применяемых алмазных коронок
Двойные колонковые снаряды ТДН-76-РК	51,0	Сланцы, брекчии VII—X категорий по буримости	76,1	1,5	2,3	КАСК-4С-76
Одинарные колонковые снаряды ОКС-76	34,0	То же	41,1	1,0	2,1	02ИЗ, И4ДП

экспериментальные макеты двойных колонковых снарядов типа ТДН-76-РК, результаты отработки которых приводятся в табл. 7-10.

Двойная колонковая труба ТДН-76-РК в условиях указанного месторождения позволяет повысить углубку за рейс в 1,5 раза, повысить выход керна на 35 % и обеспечить его кондиционный выход (свыше 70 %). При этом снижения производительности буровых работ не наблюдается, так как механическая скорость бурения при применении двойных колонковых труб ТДН-76-РК находится на уровне или несколько выше скорости бурения одинарным колонковым снарядом.

В целом применение новых типов двойных колонковых снарядов конструкции ВИТР при бурении скважин в особенно сложных геологических условиях позволяет стablyно обеспечить кондиционный выход керна при соблюдении технологических рекомендаций по использованию данных снарядов.

Двойные колонковые трубы типа ТДН-76-РК с разъемной керноприемной трубой позволяют максимально сохранить структурные особенности керна и тем самым существенно повысить геологическую информативность керновой пробы. Кроме того, важной отличительной особенностью новых типов двойных колонковых снарядов является высокая надежность работы отдельных узлов и всей конструкции в целом, что позволяет эффективно применять указанные снаряды при бурении глубоких геологоразведочных скважин.

Золоторудные месторождения Северо-Востока СССР. Месторождения золота на Северо-Востоке СССР относятся к типу приповерхностных, залегающих главным образом в вулканогенных эфузивных породах. В разрезе наиболее распространены липариты, игнimbриты, фельзиты, алевролиты, песчаники, кварц-полевошпатовые порфиры. Полезное ископаемое залегает в виде рудных тел и непостоянных по мощности и сопровождающихся раздувами жил, как правило, с крутым (60—90°) их падением. Рудные тела представлены окварцизованными, густо прожилкованными кварц-каолинитовыми и кварцевыми прожилками алевролитов и песчаников, с кварцевыми, кварц-антимонитовыми гнездами, линзами, участками брекчирования и смятия.

Категория пород по буримости от V до XI (свыше 80 % из них VIII—IX). На месторождениях сильно развиты зоны дробления в различных направлениях, с углами падения в широких пределах (15—90°), мощность зон от одного-двух до десятков метров.

Рудные жилы представлены твердыми, вязкими породами IX—XI категорий по буримости. Выход керна при бурении одинарным колонковым снарядом в монолитных, ненарушенных породах рудной зоны достаточно высокий (до 90 %), в зонах дробления существенно ниже (35—40 %). Систематического избирательного истирания в пределах рудных зон не наблюдается. Большая часть пород региона имеет показатель абразивности $K_{abp} = 1,75 \div 2,25$ и относится к абразивным и сильноабразивным. По степени трещиноватости породы региона можно разделить на три группы: монолитные и слаботрещиноватые; среднетрещиноватые; сильнотрещиноватые, раздробленные.

В районе месторождений породы многолетнемерзлые с температурой от —4 до —8 °C. В летний период верхний слой пород оттаивает на глубину 0,5—0,8 м, что затрудняет перевозку буровых вышек, увеличивает время на монтажно-демонтажные операции.

Основные горные породы месторождений подразделены на четыре группы по сложности получения кернового материала. Критерием группировки является его количественная характеристика. В табл. 7-11 приведены группы горных пород и степень их распространения в геологических условиях Северо-Востока СССР. Для обеспечения кондиционного выхода керна в указанных условиях, особенно при перебурывании зон смятия, дробления и выветривания, необходимо применение специальных технических средств отбора керна. На месторождениях Северо-Востока СССР наибольшее рас-

Таблица 7-11

Характеристика горных пород по сложности получения кернового материала

Группа	Породы	Степень распространения пород, %	Показатели	
			Выход керна, $B_{\text{к}} \%$	Удельная кусковатость керна, шт./м.
I	Монолитные и слаботрещиноватые (песчаники, алевролиты, фельзиты, игнимбриты, кварцевые жилы и т. п.)	35	≥ 80	0—5
II	Трещиноватые и слаботрещиноватые (порфиры, алевролиты, песчаники, фельзиты, липариты и т. д.)	30	70—80	6—10
III	Сильнотрещиноватые брекчированные и раздробленные	25	60—70	11—20
IV	Зоны смятия, дробления, выветривания, породы, перемежающиеся по твердости, интенсивно трещиноватые	10	< 60	Свыше 20

пространение получили двойные колонковые трубы ТДН, комплексы ССК и эжекторные снаряды ОЭС.

Для труб ТДН-УТ применяют алмазные коронки со стандартной толщиной матрицы. По результатам бурения в породах I, II и частично III группы этот тип труб обеспечивает увеличение выхода керна на 25—30 % по сравнению с одинарными колонковыми снарядами. Для труб ТДН-2 применяют специальные алмазные коронки с утолщенной матрицей, конструкция труб позволяет применять при бурении глинистые растворы нормальной вязкости (до 35 с по СПВ-5). При бурении горных пород III и частично IV групп трубы ТДН-2 позволяют стабильно получить выход керна 75—85 %, увеличить углубку за рейс в 1,5—1,8 раза. Учитывая увеличение толщины матрицы коронки, для этих труб рекомендуется повышать осевую нагрузку на 25—30 % по сравнению с применяемой при бурении одинарной колонковой трубой.

Трубы ТДН-0 использовались для получения керна в особо сложных геологических условиях. Алмазные коронки для этих труб имеют широкую матрицу (до 12 мм); вследствие этого осевые нагрузки необходимо увеличивать на 30—50 % по сравнению с бурением одинарными колонковыми снарядами. Опытом бурения двойными колонковыми трубами установлена возможность применения специальных алмазных коронок для комплекса ССК в комплекте с трубами ТДН-0. Этим обеспечивается увеличение механической скорости бурения в 1,5—2 раза и снижение удельного расхода алмазов за счет более совершенной геометрии торца коронки и качества алмазного сырья.

На ряде месторождений Северо-Востока СССР применяют одинарные эжекторные снаряды (ОЭС), однако бурение этими снарядами характеризуется низкой механической скоростью и высоким расходом алмазов. Для существенного улучшения технико-экономических показателей при бурении снарядами ОЭС вводятся в комплект высокочастотные гидроударники ГВ-5 или ГВ-6 и делитель потока промывочной жидкости. В этом случае наложение продольных импульсов высокой частоты улучшает технико-экономические показатели бурения. Следует отметить, однако, что бурение с применением гидроударников отрицательно сказывается на состоянии алмазов

Таблица 7.12

Фактический расход алмазов при бурении с гидроударниками и без них

Коронка	Число коронок, шт.	Объем бурения, м	Извлечено алмазов, %		Расход алмазов, кар/м	
			всего	пригодных	всего	с учетом извлеченных пригодных
А4ДП-59 с ГВ-6	3	83,9	70,0	31,4	0,363	0,249
А4ДП-59 без ГВ-6	7	202,5	82,5	55,0	0,347	0,156

в коронке. Установлено, что расход алмазов (с учетом пригодных, полученных при рекуперации) на 37,4 % выше при работе с гидроударниками. В табл. 7-12 приведены сравнительные результаты бурения коронками А4ДП-59 при вращательном и гидроударно-алмазном бурении.

Исходя из вышеизложенного рекомендуется применять гидроударно-алмазное бурение только в следующих случаях:

- при бурении малоабразивных пород с целью снижения вероятности заполирования коронок и увеличения их ресурса;

- для увеличения выхода кернового материала, когда расход алмазов имеет второстепенное значение.

МЕТОДЫ ХРАНЕНИЯ КЕРНА В ОРГАНИЗАЦИЯХ МИНГЕО СССР

Извлеченный из скважин керновый материал является основным источником получения геологической информации при бурении геологоразведочных скважин. В связи с этим получение некачественного керна, потери его при транспортировке и хранении существенно снижают эффективность геологических исследований и вызывают необходимость проведения дополнительных геологоразведочных работ по доразведке месторождений.

Поэтому вопросы хранения и обработки керна в настоящее время приобретают весьма актуальное значение. В 1984 г. Гипрогострой провел анкетный опрос геологических организаций Мингео СССР, который показал, что ежегодно 33,5 % керна, получаемого в процессе бурения, поступает на хранение в кернохранилища геологоразведочных организаций. Достаточно детально вопросы хранения и обработки керна в геологоразведочных организациях Мингео СССР освещены в работе Г. С. Александрова, И. С. Афанасьева, В. К. Кувшинникова и др.* Авто-

* Современные методы хранения керна в организациях Мингео СССР/Г. А. Александров, И. С. Афанасьев, В. К. Кувшинников и др.— Экспресс-информация ВИЭМС. Техника и технология геологоразведочных работ; организация производства, 1986. 51 с.

рами установлено, что в большинстве кернохранилищ геологоразведочных организаций отрасли не созданы необходимые условия для качественного изучения, механизированной обработки и хранения кернового материала.

В связи с этим особенно важное значение приобретают работы, проведенные рядом производственных геологических организаций и отраслевых НИИ Мингео СССР и направленные на повышение инженерного и технического уровня работы с керном, индустриализацию методов документации, обработки и изучения кернового материала, механизации и автоматизации трудоемких процессов в кернохранилищах.

Начиная с 1967 г. производственное геологическое объединение «Уралгеология» и Свердловский горный институт им. В. В. Вахрушева успешно разрабатывают и реализуют на практике эффективный метод долгосрочного хранения керна в механизированном базовом хранилище. Система включает в себя комплекс геолого-методических, организационных, технологических и технических мероприятий, направленных на совершенствование всего комплекса производственных процессов (комплектования, документирования, транспортировки, хранения, механической обработки, исследования и изучения каменного материала), а также процессов информационного обеспечения и управления с момента отбора керна до закладки его на хранение.

В объединении «Севзапгеология» разработан комплекс механизации для кернохранилища (КМК-30), предназначенный для обработки и хранения 30,0 тыс. м керна. КМК-30 может служить модулем для кернохранилищ большой емкости. Отличительной особенностью комплекса является возможность его применения не только во вновь строящихся, но и в уже существующих и действующих кернохранилищах.

Техническая характеристика сдвоенного модуля КМК-30

Площадь кернохранилища, м ²	756
в том числе:	
блока хранения	432
участка документации керна	210
Объем блока хранения, м ³	1857
Число контейнеров в блоке хранения	636
Масса контейнера, загруженного керновыми ящиками, кг	Не более 1000
Масса контейнера (тары), кг	51
Число ящиков с керном в контейнере	12—16
Вместимость одного ящика с керном (керн целиковый), м	До 10
Число столов документатора	4
Устройство для фотографирования керна	1
Электроталь	2
Напольный штабелер	1

Важным направлением механизации геологоразведочных работ является создание пунктов централизованной обработки керна (ЦОК) в Северной геологической экспедиции ПГО «Севзапгеология». Технологический процесс работы пунктов заключается в следующем. Керн в ящиках с крышками доставляется на машине и разгружается на приемной площадке. Через приемное окно ящики с керном подаются на стол временного складирования, где при необходимости производится оттаивание керна. Затем ящики с керном подаются на ленточный транспортер, рядом с которым расположены рабочие места документаторов.

Из двух важных технических решений хранения и обработки кернового материала следует упомянуть методы хранения керна, принятые во ВНИГНИ при изучении и обработке керна скважин, пробуренных при разведке нефтяных месторождений (Апрелевское кернохранилище) и склад карусельного типа, предложенный Кавказским институтом минерального сырья (КИМС). В 1976 г. отраслевой институт Гипрогеолстрой Мингео СССР разработал типовые проекты механизированных кернохранилищ для геологических организаций отрасли на 2000 и на 1000 керновых ящиков.

Заслуживает внимания опыт чехословацких геологов в области решения проблемы хранения керна за счет максимальной механизации ручного труда при транспортировке, складировании, опробовании и хранении керна, строительства центральных керноемких механизированных складов и рационального размещения их на территориях геологоразведочных организаций.

Фирмой «Metallkraft» разработаны и изготовлены керновые ящики новой конструкции и стеллажи для их хранения. Керновые ящики длиной 75 см изготавливаются из легких алюминиевых сплавов с акриловым покрытием и пригодны для керна всех диаметров и размеров. Каждый ящик имеет несколько каналов для керна в зависимости от его диаметра. Для керна диаметром 27,0—36,5 мм ящик имеет шесть каналов, вмещающих 4,5 м керна, диаметром 47,6 мм — пять каналов, вмещающих 3,75 м керна. Масса ящиков около 1 кг. Фирмой разработан стеллаж на 29 керновых ящиков, вмещающих около 150 м керна. Стеллаж имеет длину 1,8 м и состоит из 12 стальных составных рам, покрытых краской. Каждый стеллаж имеет захваты, позволяющие производить его наращивание.

В финской фирме «Оуто-Кумпу» весь получаемый керн из буровых скважин транспортируется на центральную базу фирмы, где он подвергается всестороннему обследованию в специально оборудованных цехах, после чего составляется документация на всю скважину, а керн отвозится в центральное кернохранилище на постоянное хранение (без сокращения).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ и обобщение отечественных и зарубежных литературных источников, а также экспериментальные и производственные исследования основных закономерностей процесса кернообразования позволили впервые комплексно подойти к рассмотрению проблемы формирования и дальнейшего износа керна при бурении геологоразведочных скважин. Результаты проведенных исследований позволили выделить две основные проблемы кернообразования:

- получение кондиционного выхода керна согласно требованиям Государственной комиссии по запасам СССР;
- обеспечение высокого качества получаемых керновых проб.

На современном уровне развития разведочного бурения помимо получения кондиционного выхода керна, определяемого его количеством, необходимым условием является максимальное сохранение структуры керна и истинного содержания полезного компонента, что определяется качеством керновой пробы.

В результате проведенных исследований изучены основные условия процесса кернообразования, что позволило разработать научно обоснованную классификацию факторов кернообразования по степени их влияния на конечный результат геологоразведочного бурения: выход керна. На основе точных количественных оценок физико-механических свойств и структурно-текстурных особенностей горных пород объективно, по количественным характеристикам, распределены горные породы по степени трудности получения керна при геологоразведочном бурении и разработана принципиально новая классификация горных пород по указанному принципу.

Новая классификация горных пород по трудности отбора керна обеспечила в свою очередь возможность обоснованно и дифференцированно выбирать комплекс технических средств и

технологию бурения в каждом конкретном комплексе горных пород для получения кондиционного выхода керна (необходимого количества кернового материала). Комплекс теоретических и экспериментальных исследований позволил с принципиально новых позиций подойти к вопросам оценки качества керновых проб, что является важнейшим показателем эффективности геологоразведочного бурения.

Разработанная на основе теоретических и экспериментальных исследований модель формирования и износа керна при геологоразведочном бурении дала четкое представление о стадийности процесса потери керновой пробой своих качественных характеристик, что в свою очередь позволило выработать конкретные рекомендации по обеспечению высокого качества керновых проб. Основой для оценки качества керна служат схема основных критерииов оценки и классификация керновых проб по степени достоверности геологической информации.

Выявленные основные закономерности формирования и износа керна при разведочном бурении послужат базой для расчетов основных параметров специальных технических средств для отбора керна и разработки режимных параметров керно-сберающей технологии бурового процесса.

В целом использование результатов выполненных работ по проблеме кернообразования и полученных на их основе рекомендаций значительно повысит эффективность и качество разведочного бурения на твердые полезные ископаемые.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богацкий В. В. Влияние количества и размеров проб на точность результатов разведки полезных ископаемых.—В кн.: Вопросы методики опробования рудных месторождений при разведке и эксплуатации. М.: Госгеолтехиздат, 1962, с. 16—27.
2. Богацкий В. В. Математический анализ разведочной сети. М.: Госгеолтехиздат, 1963. 212 с.
3. Достоверность керновых проб и выбор диаметров скважин при разведке месторождений. Л.: Недра, 1982. 59 с.
4. Выбор минимальных диаметров керна, допустимых для опробования разных видов твердых полезных ископаемых/В. Г. Соловьев, Ю. Л. Михалевич, Г. Г. Пежемский и др. Л.: Недра, 1973. 90 с.
5. Бурение геологоразведочных скважин алмазным инструментом малого диаметра (46 мм)/В. И. Васильев, П. П. Пономарев, Г. А. Блинов и др. Л.: Недра, 1981. 100 с.
6. Гайдуков Ю. И., Крючков И. А., Баранов О. В. Методика, техника и технология кернового опробования угольных месторождений. М.: Недра, 1975. 168 с.
7. Волков С. А. Мероприятия по повышению выхода керна.—Разведка и охрана недр, 1959, № 12, с. 25—28.
8. Воздвиженский Б. И., Большаков В. В. О классификации пород и полезных ископаемых по трудности получения из них кернов.—Изв. вузов. Геология и разведка, 1962, № 7, с. 115—119.
9. Бергштейн О. Ю. Пути создания эффективных забойных средств отбора керна в крепких абразивных породах для целей изучения недр земли.—Тр. ВНИИБТ, 1972, вып. 30, с. 73—88.
10. Бергштейн О. Ю., Великосельский М. А., Вугин Р. Б. Совершенствование методов и средств отбора керна в глубоком бурении. М.: Недра, 1977. 224 с.
11. Булнаев И. Б. Экспериментальные исследования влияния колебаний колонкового снаряда на интенсивность разрушения керна.—Изв. вузов. Геология и разведка, 1969, № 1, с. 120—127.
12. Булнаев И. Б. Техника и технология отбора проб при разведочном бурении. М.: Недра, 1974. 184 с.
13. Тукбаев Н. Т., Федоров Б. В., Баймольдаев Б. К. О механизме разрушения керна при бурении в монолитных и трещиноватых породах.—Изв. вузов. Геология и разведка, 1980, № 5, с. 109—116.
14. Кагарманов Н. Ф., Байков Р. А., Баландин П. С. Классификация пород по трудности отбора керна.—Тр. БашНИПИНефть, 1974, вып. 36, с. 60—65.
15. Сулакшин С. С. Современные способы и средства отбора проб полезных ископаемых. М.: Недра, 1970. 248 с.

16. Гребенюк А. А. Техника и технология получения керна. М.: Недра, 1973. 144 с.
17. Инструктивные указания по отбору керна при колонковом бурении геологоразведочных скважин. Л.: Недра, 1970. 44 с.
18. Временная инструкция по взятию керна при колонковом бурении Мингео СССР. М.: Госгеолтехиздат, 1950. 37 с.
19. Алмазное бурение скважин на угольных месторождениях. Методические указания/В. А. Каулкин, В. А. Марченко, М. С. Агешин и др. Л.: ВИТР, 1976. 52 с.
20. Пономарев П. П. Разработка критериев оценки трещиноватости горных пород при алмазном бурении.—Методика и техника разведки, 1977, № 114, с. 5—9.
21. Нечаев Н. Д. Анализ выхода керна при бурении восстающих и нисходящих скважин.—Изв. вузов. Геология и разведка, 1975, № 7, с. 64—66.
22. Рудные месторождения СССР. Т. 1—3. М.: Недра, 1974. Т. 1, 328 с.; Т. 2, 390 с.; Т. 3, 470 с.
23. Минералы и горные породы СССР/Т. Б. Здорик, В. В. Матиас, Т. Н. Тимофеев, Л. Г. Фельцман. М.: Мысль, 1970. 440 с.
24. Безклубный А. И., Середа В. С. Разделение кернов горных пород на диски.—В кн.: Технология добычи угля подземным способом. М.: ЦНИИЭИУголь, 1970, с. 51—52.
25. Булнаев И. Б. Влияние угла наклона скважины на выход керна.—Изв. вузов. Нефть и газ, 1970, № 7, с. 31—36.
26. Вавочкин Д. И., Селезнев А. П. Повышение выхода керна в перемежающихся по крепости породах.—Тр. ЦНИГРИ, вып. 90, 1970, с. 122—127.
27. Бронников И. Д. Методика выбора факторов, влияющих на выход керна при колонковом бурении.—Изв. вузов. Геология и разведка, 1974, № 5, с. 17—19.
28. Константинов Л. П., Барабашкин И. Н., Алексеева С. Ф. Основные направления развития техники бурения с отбором керна.—Нефт. хоз-во, 1971, № 5, с. 27—30.
29. Кирсанов А. И., Боголюбский А. К. Влияние параметров режимов бурения на сохранность керна монолитных пород средней твердости.—Изв. вузов. Геология и разведка, 1976, № 6, с. 170—175.
30. Мусиенко И. А. Влияние петрографического строения и физико-механических свойств углей на разрушаемость угольного керна при отборе его керногазонаборниками.—Экспресс-информация ВИЭМС. Техника и технология геологоразведочных работ; организация производства, 1971, № 158, с. 18—22.
31. Пономарев П. П.—Исследование и разработка алмазных коронок и технологий бурения ими разведочных скважин в трещиноватых породах. Автореферат канд. дисс. Л.: ВИТР, 1977. 25 с.
32. Саранчина Г. М., Шинкарев Н. Ф. Петрография магматических и метаморфических пород. Л.: Недра, 1967. 324 с.
33. Хартман К., Лецкий Э., Шефер В. Планирование экспериментов в исследовании технологических процессов. М.: Мир, 1977. 552 с.
34. Болотов В. А., Панков А. В., Пирогов П. Г. Опыт бурения эжекторными колонковыми снарядами.—Экспресс-информация ВИЭМС. Техника и технология геологоразведочных работ; организация производства, 1976, № 1, с. 6—12.
35. Болотов В. А., Шпаков В. Е. Применение эжекторных колонковых снарядов при разведочном бурении.—В кн.: Техника и технология бурения скважин эксплуатационной разведки на карьерах и шахтах КМА. Белгород, 1976, с. 57—61.
36. Бурачек Н. А., Селезнев А. П., Сладков В. И. Повышение выхода керна при бурении эжекторными снарядами сильнотрещиноватых рудных зон.—Тр. ЦНИГРИ, 1975, вып. 117, с. 109—113.

37. Володченко В. К. Опыт применения двойных эжекторных колонковых снарядов.—Изв. вузов. Геология и разведка, 1973, № 8, с. 163—165.
38. Двойные колонковые наборы типа ДКН-ВП-П с напорным восходящим потоком жидкости в керноприемной трубе./А. А. Гребенюк, И. М. Городецкий, Г. Г. Моисеев и др.—В кн.: Техника и технология разведочного бурения, вып. 1. Алма-Ата, 1973, с. 179—182.
39. Толокнов И. И., Цехмистренко Н. М., Орлов В. В. Технические средства и способы повышения выхода керна.—Экспресс-информация ВИЭМС. Техника и технология геологоразведочных работ; организация производства, 1973, № 4, 86 с.
40. Князев И. К., Сурма К. Ю. Методы определения рациональных режимов отбора керна.—Тр. Пермского проектн. ин-та нефт. пром-ти, 1973, вып. 9, с. 72—77.
41. Сулакшин С. С., Храменков В. Г. К вопросу качественного опробования полезных ископаемых при бурении скважин.—Изв. Томского политехнического ин-та. Геология, т. 217, 1971, с. 184—199.
42. Яковлев Ю. А., Крылов Г. А. Технические средства для бурения с двойной колонной бурильных труб и выносом керна обратным потоком промывочной жидкости.—Экспресс-информация ВИЭМС. Техника и технология геологоразведочных работ; организация производства, 1975, 34 с.
43. Абдулладзе А. М., Ибадов Г. М., Ибрагимов А. А. Влияние конструкции алмазных коронок на качество отбора керна при бурении.—Изв. вузов. Нефть и газ, 1973, № 2, с. 17—22.
44. Туякаев Н. Т. Отбор керна из скважин. Алма-Ата.: Наука, 1976 г. 324 с.
45. 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, 1985. 42 с.
46. Левицкий А. З. Теоретическое исследование факторов, приводящих к подклинике керна при его формировании.—Изв. вузов. Геология и разведка, 1980, № 2, с. 105—110.
47. Васильев В. В., Каулин В. А., Пономарев П. П. Экспериментальные исследования процесса разрушения керна при его самозаклинивании в колонковом снаряде.—Методика и техника разведки. ОНТИ ВИТР. Л., 1980, № 133, с. 14—19.
48. Кирсанов А. И., Боголюбский А. К. Влияние параметров режимов бурения на сохранность керна монолитных пород средней твердости.—Изв. вузов. Геология и разведка, 1976, № 6, с. 170—175.
49. Гребенюк А. А., Моисеев Г. Г., Городецкий И. М. Методическое руководство по получению керна в различных геологических условиях. Алма-Ата, 1972, 80 с.
50. Панов Б. Л., Бакулин В. Г. Совершенствование техники и технологии отбора керна при бурении глубоких скважин. М.: Недра, 1969. 167 с.
51. Плеханов М. И., Суманеев Н. Н. Эжекторные колонковые снаряды для алмазного бурения.—Экспресс-информация ВИЭМС. Техника и технология геологоразведочных работ; организация производства, 1973. 23 с.
52. Тетерин Ю. М. Двойная колонковая труба для алмазного бурения с обратной промывкой.—Экспресс-информация ВИЭМС. Техника и технология геологоразведочных работ; организация производства, 1972, № 20, с. 1—9.
53. 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.: ВИТР, 1972, вып. 164. 24 с.
54. 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.
55. Пономарев П. П., Оношко Ю. А., Бухарев Н. Н. Инструмент для

алмазного бурения геологоразведочных скважин (конструкция и технология применения). Л.: Недра, 1981. 137 с.

56. Основы выбора технических средств для отбора керна при колонковом геологоразведочном бурении. В. А. Каулин, П. П. Пономарев, В. В. Васильев, Г. В. Петрова.— Экспресс-информация ВИЭМС. Техника и технология геологоразведочных работ; организация производства, 1983. 53 с.

57. 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.: ВГО Союзгеотехника, 1982, с. 5—11.

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

59. Исследование процесса износа керна при алмазном бурении/В. А. Каулин, П. П. Пономарев, М. А. Денисов, В. В. Васильев.— Экспресс-информация ВИЭМС. Техника и технология геологоразведочных работ; организация производства, 1986. 57 с.

60. Меламед Ю. А., Соколовский В. Б. Исследование отбора керна при различных динамических нагрузках.— Разведка и охрана недр, 1976, № 12, с. 30—34.

61. Дороднов И. П. Изменение размеров напряженного состояния керна при его отборе.— Тр. СевказНИПИНефть, 1974, вып. 19, с. 118—122.

62. Васильев В. В., Каулин В. А., Пономарев П. П. Исследование количественной зависимости между содержанием полезного компонента в керне и буровом шламе при бурении геологоразведочных скважин.— В кн.: Создание и совершенствование съемного инструмента для геологоразведочного бурения. Л.: ВИТР, 1986, с. 60—66.

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Предисловие</i>	3
<i>Глава 1. Современное состояние кернового опробования при колонковом геологоразведочном бурении</i>	5
Термины и определения	—
Представительность кернового опробования и достоверность геологической информации при геологоразведочном бурении	8
<i>Глава 2. Классификация горных пород по трудности отбора керна</i>	19
Анализ существующих классификаций горных пород по трудности отбора керна	—
Доминантный признак классификации горных пород по трудности отбора керна	25
Структурно-текстурные особенности и петрографическая характеристика горных пород	26
Физико-механические свойства и трещиноватость горных пород	30
Эталонная схема классификации горных пород по трудности отбора керна	33
Классификация горных пород по трудности отбора керна	35
<i>Глава 3. Факторы процесса кернообразования</i>	45
Влияние различных факторов на процесс кернообразования	—
Оценка значимости факторов кернообразования	48
Стенды для изучения процесса кернообразования	54
Экспериментальные исследования влияния различных факторов на процесс кернообразования	61
Классификация факторов кернообразования по степени их влияния на формирование и сохранность керна	78
<i>Глава 4. Качество керновых проб</i>	82
Показатели качества керновой пробы	—
Классификация керновых проб по достоверности геологической информации	85
<i>Глава 5. Модель износа керна в процессе бурения</i>	89
Формирование керна в породоразрушающем инструменте при алмазном бурении	—
Износ керна в керноприемной трубе в процессе бурения	111
<i>Глава 6. Технические средства для отбора керна</i>	161
Классификация технических средств и способов отбора керна	—
Выбор специальных технических средств для отбора керна при бурении геологоразведочных скважин	185
Общие рекомендации по выбору технических средств и методов, обеспечивающих кондиционный выход керна в различных группах горных пород	205
<i>Глава 7. Технология отбора керна при геологоразведочном бурении</i>	208
Отбор керна в различных группах горных пород	—
Особенности процесса кернообразования на больших (свыше 1500 м) глубинах	230
Технические средства для отбора керна, позволяющие максимально сохранять структуру породы	236
Применение технических средств для отбора керна на различных месторождениях	241
Методы хранения керна в организациях Мингео СССР	247
Заключение	250
Список литературы	252

