

БУРИМОСТЬ ПОРОД И ПОСТРОЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ЦИКЛА ПРИ КОЛОНКОВОМ БУРЕНИИ ТВЕРДЫМИ СПЛАВАМИ.

Горн. инж. В. А. Нуднер.

ВВЕДЕНИЕ.

Правильно построенный цикл является одним из основных условий успешности всякой работы. Этот вопрос имеет решающее значение, в частности и при колонковом бурении скважин — отрасли промышленности, стоящей у нас еще на очень низком производственно-техническом уровне.

Предлагаемая работа имеет своей целью попытаться выработать методику построения рационального рабочего цикла при колонковом бурении на примере работы буровых бригад Ленинской геолого-разведочной конторы комбината „Кузбассуголь“.

Основная задача, которую нужно было в связи с поставленным вопросом разрешить, заключалась в установлении правильного соотношения между продолжительностью времени чистого бурения, с одной стороны, и продолжительностью всех прочих операций, входящих в цикл, с другой. Нужно было выяснить влияние на это соотношение различных факторов, с которыми приходится иметь дело в буровом процессе, в первую очередь глубины скважины и характера проходимых пород.

Мы вынуждены были также исследовать влияние продолжительности работы коронки на забое на скорость ее продвижения. Следует отметить, что этот последний вопрос давно уже стоит в сфере внимания различных исследователей, занимающихся вопросами буримости пород. Давно уже было установлено, что скорость продвижения коронки падает вместе с увеличением продолжительности ее работы на забое. Наглядные примеры этому можно найти в работе Б. И. Воздвиженского и Н. И. Куличихина (2), в работе Е. В. Боровского и Ф. А. Шамшева (1) и у целого ряда других авторов, в статьях журнала „Разведка недр“ и т. д. К сожалению, никто из этих авторов не дает общего закона для рассматриваемого процесса, не устанавливает в нем количественных закономерностей.

Попытку установить количественные закономерности и выразить в математической форме закон изменения скорости продви-

тания коронки в зависимости от времени ее работы на забое сделал И. М. Млодик (5), предложивший формулу

$$S = ae^{bt}.$$

Здесь t — время работы коронки,
 a и b — постоянные коэффициенты,
 s — путь, пройденный коронкой за время t .

Как правильно отметил М. В. Мачинский (5), эта формула не является удовлетворительной, ибо скорость продвижения коронки, которая определяется из этой формулы в виде выражения

$$v = \frac{ds}{dt} = abe^{bt},$$

оказывается возрастающей вместе с увеличением продолжительности работы коронки (время t), что явно противоречит действительности.

М. В. Мачинский (5) в работе, посвященной теории колонкового бурения, также дает формулу для определения скорости продвижения коронки, но формула эта очень громоздка и содержит большое количество различных физических констант и коэффициентов, требующих предварительного экспериментального определения. Поэтому эта формула пока не может быть использована для наших целей.

Наконец, следует отметить работу Е. Ф. Эпштейна (8), в которой им предложена следующая формула для определения проходки коронки за время t

$$S = \frac{Cnt}{\sigma_p(R-r)tg\beta} - \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2\omega C\pi f(R+r)n^3m}{(R-r)tg\beta}} \cdot \sqrt{t^3}$$

Здесь C — осевое давление на коронку,
 n — количество оборотов коронки в минуту,
 ω — коэффициент объемного износа резца в $см^3/кгм$,
 R — наружный радиус коронки,
 r — внутренний радиус коронки,
 f — коэффициент трения,
 m — количество резцов в коронке,
 σ_p — разрушающее напряжение породы,
 β — угол приострения резца,

Насколько пригодна эта формула, сейчас сказать трудно. Необходимо экспериментальная ее проверка в различных условиях бурения и установление σ_p и коэффициента ω .

М. В. Мачинский и Е. Ф. Эпштейн получили свои формулы, исходя из чисто теоретических построений. Мы пошли, как это будет видно в дальнейшем, по другому пути, воспользовавшись методом статистической обработки хронометражных наблюдений за скоростью продвижения коронки в реальных условиях бурения.

Что касается определения оптимальной продолжительности чистого бурения в цикле, то этот вопрос, насколько нам известно, в литературе не освещен совершенно, если не считать постановки этой проблемы А. М. Голяницким (7), построившим диаграммы средней скорости бурения в зависимости от глубины скважины при 9 и 12 метровых буровых вышках. Но этот автор не дает основной зависимости: продолжительности пребывания коронки на забое—от характера проходимых пород и не делает обобщающих количественных выводов.

В настоящей работе мы попытались получить общую формулу для определения оптимальной продолжительности работы коронки на забое в зависимости от глубины скважины, длины применяемых свечей и падения скорости продвижения коронки со временем.

Считаю своим приятным долгом выразить здесь свою глубокую благодарность проф. И. А. Молчанову, неоднократно помогавшему мне своими советами, и студенту Томского индустриального института им. С. М. Кирова, Б. А. Фортес, выполнившему значительную часть сравнительно очень большой вычислительной работы, связанной с разбираемой темой.

Глава I.

Операции бурового процесса и их классификация.

При изучении всякого сложного явления с целью вскрыть заключающиеся в нем закономерности, это явление должно быть разложено на отдельные элементы. Поэтому естественно, что, занимаясь анализом колонкового бурения—процесса весьма сложного, содержащего в себе целый комплекс различных, чрезвычайно разнохарактерных факторов, зачастую не доступных непосредственному наблюдению, необходимо, прежде всего, разложить этот процесс на составляющие его элементы, совокупность которых, взятая в определенной последовательности, составляет собственно колонковое бурение. Изучению элементов процесса и выработке их рациональной классификации приходится уделять внимание, поскольку на этом строится весь дальнейший анализ, а затем и синтез процесса.

Всю совокупность операций, из которых складывается проходка колонковой скважины, давно уже принято делить на три основных группы:

1. Подготовка к бурению скважины, куда входят работы по установке буровой вышки, рытье шурфов на устье скважины и для отстойных баков, монтаж механизмов и прочие подготовительные к бурению операции.

2. Бурение—группа операций, объединяющая работы по собственно проходке и креплению скважины, а также различные геологические и гидрогеологические наблюдения и работы на скважине, имеющие место во время ее проходки.

3. Ликвидация скважины, заключающая в себе операции по извлечению обсадных труб, окончательной цементации скважины, производящейся после окончания ее проходки, операции по демонтажу механизмов, разборка буровой вышки, закрепление устья скважины и т. д.

В настоящей работе мы останавливаемся только на анализе важнейших операций второй группы, имеющих основное значение в общем процессе проходки скважины и непосредственно связанных с разбираемой темой. Поэтому же и помещаемая ниже классификация (табл. 1) охватывает только операции этой второй группы из всего комплекса работ, связанного с проходкой скважины.

Присматриваясь к процессу бурения, легко подметить в нем, во-первых, известную последовательность операций, а, во-вторых, правильную периодическую их повторяемость. Так, при бурении

Таблица 1.

Классификация операций бурового процесса.

Б о л ь ш о й ц и к л	М а л ы й ц и к л	Основные операции.	Продолжительность зависит от величины уходки за малый цикл.	Чистое бурение.	
				Операции, сопутствующие чистому бурению.	
		Вспомогательные операции	Продолжительность зависит от глубины скважины	Спуск свечей в скважину.	
				Подъем свечей из скважины.	
			Продолжительность в малом цикле постоянна.	Прочие операции при спуске инструмента в скважину.	
				Прочие операции при подъеме инструмента из сважины.	
				Постановка инструмента на забой.	
				Операции по заклинке и срыву керна.	
				Операции с колонковым снарядом.	
	Дополнительный цикл	Забурка скважины и операции по смене диаметра		Забурка скважины.	
				Операции по смене диаметра скважины.	
		Крепление скважины	Подготовка к креплению.		
			Спуск обсадных труб.		
	Прочие операции при креплении.				
	Разные работы			Мелкие операции, встречающиеся при бурении.	
	Р а б о т ы , н е о т н о с я щ и е с я к с о б с т в е н н о б у р е н и ю	Эпизодические работы			Цементация и тампонаж.
					Искусственное искривление скважины.
					Разбурка (расширение) скважины.
			Прочие эпизодические работы.		
Документация скважины		Геологические наблюдения.		Замеры искривлений.	
				Контрольные замеры глубины скважины.	
		Гидрогеологические наблюдения		Замеры уровня воды в скважине.	
				Откачки и магнетания.	

каждой колонковой скважины мы имеем следующую последовательность операций.

1. Спуск инструмента в скважину.
2. Постановка инструмента на забой.
3. Собственно бурение.
4. Заклинка и срыв керна.
5. Подъем инструмента из скважины.
6. Операции с колонковым снарядом на поверхности: извлечение керна и подготовка снаряда к новому спуску в скважину для продолжения бурения.

Последовательность эта начинается спуском инструмента в скважину и заканчивается подготовкой колонкового снаряда к новому спуску, после чего все перечисленные операции повторяются снова в том же порядке. Таким образом, мы имеем здесь вполне определенную и четко выраженную цикличность процесса. Поэтому приведенная последовательность операций выделена в классификации в самостоятельную группу, названную нами малым циклом.

В числе операций малого цикла одни дают собственно производственный эффект — углубку скважины и непосредственно сопровождают ее, другие обслуживают эту углубку. Первые операции объединены в подгруппу основных, вторые — в подгруппу вспомогательных операций.

После того, как скважина будет пройдена на некоторую, вообще говоря, различную глубину (на что потребуется известное количество малых циклов), бурение приостанавливается. Скважину закрепляют обсадными трубами, берут другой, меньший диаметр колонкового снаряда и возобновляют бурение. Иногда обходятся и без крепления скважины трубами (глинистая промывка), смена же диаметров через некоторые интервалы имеет место почти всегда.

Операции по смене диаметра колонкового снаряда (центрировка скважины меньшего диаметра на забое скважины предшествующего диаметра), забурка скважины и крепление ее трубами выделены в классификации в самостоятельную группу, названную нами дополнительным циклом.

В самостоятельную группу эпизодических работ выделены операции, связанные с возможными, но не обязательно встречающимися при проходке каждой скважины работами (цементация и тампонаж, искусственное искривление, разбурка — расширение скважины и т. п.).

Операции, имеющие место в связи с геологическими и гидрогеологическими наблюдениями и документацией, объединены в группе — документация скважины. Операции эти могут производиться, вообще говоря, в различные моменты проходки скважины между отдельными малыми циклами.

Наконец, в классификации предусмотрена отдельная группа разных работ. В эту группу должны помещаться мелкие и спорадические работы и затраты времени, часто необходимые в

процессе бурения, но по своему характеру не попадающие ни в один из установленных выше основных разделов (прием и сдача смены, смазка шестерен станка и т. п.).

Ряд малых циклов, затраченных на углубку скважины от смены до смены диаметров (или от крепления до крепления), соответствующий дополнительный цикл и группа разных работ объединяются нами понятием большой цикл.

Известное количество больших циклов (количество их зависит от конструкции скважины), эпизодические работы, если таковые производились, затраты времени на операции по документации скважины и на прочие, необходимые при бурении, работы, а также некоторые потери времени в связи с возможными в процессе работ простоями и авариями, дают в совокупности комплекс работ и затрат времени на собственно проходку скважины.

Остановимся теперь более подробно на анализе операций малого цикла.

Чистое бурение—время, в течение которого коронка работает на забое, т. е. производится собственно углубка скважины. Это время, обозначим его через t , зависит от величины уходки за цикл и скорости чистого бурения, которая, в свою очередь, есть функция буримости пород и режима бурения (количество оборотов коронки, давление на забой, форма, характер заточки и количество резцов и т. д.). Чистое бурение—это важнейший элемент процесса и правильное определение его продолжительности предопределяет успешность буровых работ вообще.

Операции, сопутствующие чистому бурению,— иначе говоря, операции, связанные с обеспечением поступательного движения колонковому снаряду, находящемуся в скважине. Здесь находят себе место, следовательно, такие операции, как подъем кремальеры (остановка станка, открепление зажимного патрона, собственно подъем кремальеры, закрепление зажимного патрона, пуск станка) и наращивание штанг (остановка станка и насоса, отвертывание сальника, наворачивание очередной штанги, наворачивание сальника, пуск насоса и станка).

В сумме с чистым бурением эти операции дают то, что мы в своей классификации назвали основными операциями и что в практике ошибочно принято называть чистым бурением.

Время, затрачиваемое в пределах малого цикла на операции, сопутствующие чистому бурению, находится в прямой зависимости от величины уходки за данный малый цикл, ибо чем больше будет уходка за цикл, тем большее количество раз мы вынуждены будем поднимать кремальеру и наращивать штанги.

Введем следующие обозначения:

S — уходка за малый цикл в мм;

n — полезная длина кремальеры, т. е. ее ход в мм;

m — длина наращиваемой штанги в мм;

t_k — время, затрачиваемое на подъем одной кремальеры в мин;

t_m — время, затрачиваемое на наращивание одной штанги в мин;

t_1 — время, затрачиваемое в малом цикле на подъем кремальер и наращивание штанг, т. е. на операции, общая продолжительность которых в цикле зависит от величины уходки за малый цикл.

Тогда общая продолжительность этих операций за цикл выражается:

$$t_1 = \frac{S}{n} \cdot t_k + \frac{S}{m} \cdot t_{ui} \text{ минут.}$$

Спуск инструмента в скважину. Под этим понятием обычно объединяют все операции, из которых складывается процесс спуска инструмента, начиная с момента спуска в скважину колонкового снаряда и кончая наворачиванием сальника на верхнюю штангу и пуском насоса и станка после окончания спуска. Таким образом, здесь мы имеем следующие операции: подъем колонкового снаряда над устьем скважины после привертывания к нему коронки (или, если работа идет на двух колонковых снарядах, после привертывания к нему вертлюга), открывание скважины, спуск колонкового снаряда в скважину, постановка колонкового снаряда на ключи или штангодержатель, отвертывание вертлюга, наворачивание очередной свечи, подъем вертлюга, наворачивание вертлюга, снятие снаряда с ключей или штангодержателя, собственно спуск свечи, постановка свечи на ключи или штангодержатель, отвертывание вертлюга, наворачивание следующей свечи и т. д. После спуска последней свечи—уборка предохранительной крышки с горизонтальной коробки, закрывание коробки станка, спуск верхней штанги через шпиндель, наворачивание штанги, наворачивание сальника, закрепление патрона, пуск насоса и станка.

Рассматривая перечисленные операции, можно заметить, что часть из них в процессе спуска инструмента повторяется большее или меньшее количество раз в зависимости от глубины скважины, другие же операции процесса встречаются в течение всего спуска инструмента в скважину только по одному разу, вне зависимости от глубины скважины. Следовательно, время, которое занимают в малом цикле операции первой категории, не постоянно, различно для различных циклов, увеличиваясь с глубиной скважины. Время же, занимаемое операциями второй категории, постоянно, не зависит от глубины скважины и одинаково, следовательно, в каждом малом цикле.

Это обстоятельство заставило разделить операции по спуску инструмента в скважину на две группы. В первую группу отнесены операции, суммарная продолжительность которых в пределах малого цикла зависит от глубины скважины. Они объединены термином „Операции по спуску свечей“. В эту группу попадают операции, начиная с наворачивания первой свечи на колонковый снаряд и кончая отвертыванием вертлюга с последней, спущенной в скважину свечи, т. е. до уборки предохранительной крышки с горизонтальной коробки станка. Все осталь-

ные, перечисленные выше операции, встречающиеся при спуске инструмента в скважину, относятся ко второй категории. Продолжительность их не зависит от глубины скважины и они выделены в группу „прочие операции при спуске инструмента“.

Если обозначить через

L — глубину скважины в начале цикла в мм;

l — длину свечи в мм;

t_c — продолжительность операций по спуску одной свечи в мин.;

t'_2 — время, необходимое на спуск в скважину всех свечей в одном малом цикле в мин.;

t''_2 — продолжительность прочих операций по спуску свечей в малом цикле в мин.;

t_2 — общую продолжительность операций по спуску инструмента в скважину в малом цикле,

то

$$t'_2 = \frac{L}{l} \cdot t_c$$

и

$$t_2 = t'_2 + t''_2$$

или

$$t_2 = \frac{L}{l} \cdot t_c + t''_2 \text{ минут.}$$

Подъем инструмента из скважины. Здесь, так же как и при спуске инструмента в скважину, мы имеем два рода операций. Одни операции не зависят ни от глубины скважины, ни от величины уходки за малый цикл, и, при данной квалификации буровой бригады, работающей на определенном оборудовании, общая продолжительность их является постоянной величиной в любом малом цикле. Суммарная продолжительность других операций является функцией глубины скважины, увеличиваясь с увеличением глубины интервала бурения. По аналогии с операциями по спуску инструмента в скважину эти последние операции выделены в группу „операции по подъему свечей“. Операции же первой категории объединены группой „прочие операции при подъеме инструмента“. В эту группу входят операции: отвертывание сальника перед началом подъема, открепление патрона станка, отвертывание верхней штанги, открывание коробки и отвод вертикальной коробки в сторону вместе с находящейся в ней верхней штангой, закрытие горизонтальной коробки предохранительной крышкой, затем, после подъема последней свечи, наворачивание вертлюга на штангу колонкового снаряда, подъем колонкового снаряда, отвод снаряда в сторону, закрывание устья скважины пробкой.

Группу операций по подъему свечей составляют следующие операции: наворачивание вертлюга на верхнюю свечу, снятие

свечи со штангодержателя или ключей, собственно подъем свечи, постановка свечи на штангодержатель или ключи, отвертывание вертлюга, отвертывание свечи, уборка свечи и спуск вертлюга, наворачивание вертлюга на следующую свечу и т. д., вплоть до подъема последней свечи, уборки ее в сторону и спуска вертлюга для подъема колонкового снаряда.

Обозначим:

t_n — продолжительность операций по подъему одной свечи в мин.;

t'_3 — время, необходимое на подъем из скважины всех свечей в данном малом цикле в мин.;

t''_3 — продолжительность прочих операций по подъему инструмента в малом цикле в мин.;

t_3 — общую продолжительность операций по подъему инструмента из скважины в малом цикле.

Тогда

$$t'_3 = \frac{L+S}{l} \cdot t_n$$

$$t_3 = t'_3 + t''_3$$

$$t_3 = \frac{L+S}{l} \cdot t_n + t''_3 \text{ минут.}$$

Постановка инструмента на забой. В эту рубрику помещаются все операции, связанные с доведением колонкового снаряда до забоя скважины, т. е. разбурка оставшегося в скважине керна, промывка скважины для очистки забоя от шлама и т. п. При идеально идущем процессе этих операций, вообще говоря, быть не должно, и снаряд в результате нормального спуска должен непосредственно становиться на забой; но, поскольку в действительности эти операции имеют место и занимают в малом цикле известное время, выделение их в самостоятельную группу представляется необходимым.

Продолжительность этих операций в малом цикле не зависит ни от уходки за цикл, ни от глубины скважины. Но, вместе с тем, колебания ее по отдельным циклам могут быть и бывают в действительности довольно значительными, что объясняется целым рядом привходящих причин, из которых главной является характер проходимых пород с точки зрения их прочности, устойчивости, способности давать шлам той или другой крупности и т. п.

Пока мы не имеем возможности учесть в цифрах это влияние и поэтому на эти операции, в пределах одного малого цикла, приходится брать среднюю продолжительность их, определенную путем хронометража по ряду циклов и, таким образом, считать эту продолжительность одинаковой для всех малых циклов.

Обозначим время в минутах, необходимое на эти операции в малом цикле, через t_4 .

Операции по заклинке и срыву керна. Здесь нашли свое место следующие операции: остановка станка и насоса, отвертывание сальника, засыпка заклинки, наворачивание сальника, пуск насоса, прессовка заклинки, остановка насоса, срыв керна.

Операции эти являются обязательными при колонковом бурении, причем время, занимаемое ими в малом цикле, не является, строго говоря, постоянным. Но учтя, что отклонения от нормы носят случайный характер и не зависят ни от глубины скважины, ни от уходки за цикл, мы можем принять продолжительность этих операций в цикле постоянной, равной среднему арифметическому из ряда наблюдений.

Обозначим время, расходуемое на эти операции в малом цикле, через t_5 .

Операции с колонковым снарядом. Этой группой объединяются операции, относящиеся к манипуляциям с колонковым снарядом на поверхности. Если работа идет на сменных колонковых снарядах, что, вообще говоря, нужно считать обязательным, то в эту группу попадают операции: отвертывание вертлюга от поднятого колонкового снаряда и наворачивание вертлюга на спускаемый в скважину колонковый снаряд. Если работа идет на одном колонковом снаряде, что часто еще имеет место в практике, то в эту группу попадают операции: отвертывание коронки после извлечения колонкового снаряда из скважины, извлечение керна из колонковой трубы, наворачивание новой коронки, чистка шламовой трубы.

Понятно, что время, расходуемое на эти операции, не зависит от глубины скважины. Влияние величины уходки за цикл здесь также практически не сказывается (извлечение несколько большего или несколько меньшего количества керна). Поэтому продолжительность операций с колонковым снарядом может быть принята в малом цикле постоянной.

Обозначим продолжительность этих операций в малом цикле через t_6 .

Напишем теперь формулу для определения общей продолжительности малого цикла T .

$$T = t + t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6$$

или

$$T = t + \frac{S}{n} \cdot t_k + \frac{S}{m} \cdot t_u + \frac{L}{l} \cdot t_c + t_2'' + \frac{L+S}{l} \cdot t_n + t_3'' + t_4 + t_5 + t_6$$

Здесь суммарная продолжительность операций, на которые затрачивается время t_2'' , t_3'' , t_4 , t_5 и t_6 , является постоянной для любого малого цикла. Обозначим суммарную продолжительность этих операций через K , т. е. положим:

$$t_2'' + t_3'' + t_4 + t_5 + t_6 = K(I)$$

Тогда

$$T = t + \frac{S}{n} t_k + \frac{S}{m} t_{ш} + \frac{L}{l} t_c + \frac{L}{l} t_n + \frac{S}{l} t_n + K$$

или

$$T = t + S \left(\frac{t_k}{n} + \frac{t_{ш}}{m} + \frac{t_n}{l} \right) + \frac{L}{l} (t_c + t_n) + K \quad (2)$$

Величины t_c и t_n , т.е. время, затрачиваемое на спуск одной свечи и на подъем одной свечи, являются функциями длины свечи, ибо каждая из них складывается из некоторого постоянного времени (t'_c и t'_n), не зависящего от длины свечи (в первом приближении, с достаточной для практики точностью) и некоторого количества времени, затрачиваемого на собственно спуск (t'_c) и собственно подъем (t'_n) свечи. Эти последние величины зависят от длины свечи, количества оборотов барабана лебедки и его диаметра. Так как при проходке определенной скважины длина свечи, диаметр барабана лебедки и количество оборотов этого барабана обычно постоянны, то, следовательно, для данных конкретных условий будут постоянными t'_c и t'_n , а значит и t_c и t_n .

Величины $\frac{t_k}{n}$, $\frac{t_{ш}}{m}$ и $\frac{t_n}{l}$ также являются постоянными для конкретных условий проходки определенной скважины.

Таким образом, общая продолжительность малого цикла зависит от двух переменных величин: продолжительности чистого бурения в цикле t и уходки за цикл „S“, причем уходка за цикл сама является функцией продолжительности чистого бурения в цикле и характера проходимых скважиной в данном цикле пород. Анализом продолжительности чистого бурения в малом цикле и уходки за этот цикл мы займемся несколько позднее.

Глава II.

Кривые буримости пород Ленинского района Кузбасса и их аналитическое выражение.

Материалом для настоящей главы послужили наблюдения, произведенные летом 1937 года в процессе хронометражных работ в буровых бригадах Ленинской геолого-разведочной конторы Углеразведки Кузбасскомбината, поставленные под руководством автора. При производстве этих работ, наряду с прочими наблюдениями, фиксировалось время чистого бурения, затрачиваемое на углубку скважины на интервал каждой кремальеры. Поставить фиксацию более мелких интервалов уходки, что рекомендуется некоторыми авторами (4) нам, по целому ряду причин, не удалось. Да в этом и не было особой необходимости, поскольку породы продуктивных толщ Кузбасса не отличаются значительной твердостью и затраты времени на углубку скважины на интервал одной кремальеры были, поэтому, не велики (10—15, редко больше минут). С другой стороны, фиксация углубки по кремальерам представляет очевидные преимущества.

Запись наблюдений производилась по следующей форме (табл. 2).

Таблица 2.

Скорость чистого бурения по интервалам на скважине №

Дата цикла					Глубина скважины { в начале цикла в конце цикла						
№№ кремальер	Начало и конец чистого бурения			Замер в мм к началу бурения	Углубка в мм	Простои		Чистое бурение		Скорость чистого бурения в мм/мин	Наименова- ние и харак- теристика пород
	h	'	"			'	"	'	"		
1	7	4 11	14 40	1080	115	—	—	7	26	15,5	
2	7	12 32	51 22	965	260	—	—	19	31	13,3	
3	7	33 50	36 58	705	210	—	—	17	22	12,1	

Условия, в которых производилось бурение, отмечались в основной хронокарте. Краткая их характеристика сводится к следующему.

Бурение производилось, главным образом, коронками диаметром 65, 75 и 85 мм. В качестве резцов использовались призматические твердые сплавы марок РЭ—6 и РЭ—8. В коронки диаметром 65 и 75 мм вставлялось по 6 резцов, в коронки 85 мм—по 8 резцов. Резцы укреплялись перпендикулярно торцу коронки и не затачивались. Чеканка производилась небрежно.

Количество оборотов коронки на забое колебалось в пределах от 90 до 110—120 в минуту, редко больше. Давление на забой регулировалось сменным мастером от руки. Грузом на рычаге не пользовались. Ориентировочно можно считать, что давление колебалось от 300—350 до 400—450—500 кг. Глубина скважины колебалась в пределах 200—250 м.

Как видно, и режим бурения, и применяемые коронки оставляют желать лучшего, но останавливаться на критическом разборе условий бурения мы здесь не будем. Это сделано нами в другой работе (6).

После подъема колонкового снаряда на поверхность и извлечения керна в табл. 2 против каждой кремальеры проставлялось наименование породы, пройденной на этом интервале, и приводилась краткая характеристика ее физических свойств. В дальнейшем использовались только те малые циклы, в пределах которых не было смены пород. Это ограничение необходимо было ввести с тем, чтобы получить возможность найти закон изменения скорости чистого бурения во времени для каждой категории пород.

Зная время чистого бурения, затраченное на углубку скважины в пределах каждой кремальеры малого цикла, и среднюю скорость чистого бурения по данной породе на интервале каждой кремальеры, можно определить, к какому моменту времени, считая с начала чистого бурения в цикле, относится эта средняя скорость чистого бурения. Очевидно, что без большой погрешности можно принять среднюю скорость чистого бурения на данном интервале скважины за истинную скорость чистого бурения в середине данного интервала времени, так как в пределах выделенных нами сравнительно небольших промежутков времени и интервалов уходки (не больше полезной длины одной кремальеры, т. е. около 200—250 мм и 10—20 минут) изменение скорости будет близко отвечать закону прямой линии.

Пользуясь этой предпосылкой, для каждой из выделенных категорий пород были составлены таблицы, в графах которых помещены номера циклов, порядковые номера кремальер (интервалов) в цикле, продолжительность чистого бурения на интервале данной кремальеры, время чистой работы коронки с начала цикла до середины соответствующего интервала и скорость чистого бурения на данном интервале. Форма записи иллюстрируется табл. 3.

Таблица 3.

Скорость чистого бурения на отдельных интервалах малого цикла по породам ... категории.

1	2	3	4		5		6	7
№ скважины	№ малого цикла	Порядковый № кремальеры	Продолжительность чистого бурения на интервале одной кремальеры		Время работы коронки с начала малого цикла до середины данного интервала		Скорость чистого бурения в мм/мин на данном интервале	Примечание
			I'	II''	I'	II''		
253	23	1	7	26	3	43	15,5	
		2	19	31	17	11	13,3	
		3	17	22	35	38	12,1	

Таким образом вычислялись для каждой категории пород скорости чистого бурения в различные моменты времени, считая от начала работы коронки в данном цикле.

После этого время, занимаемое в малом цикле чистым бурением, разбивается на произвольные, но равные интервалы. При выборе величины интервала следует иметь в виду, что чрезмерно малые интервалы, а следовательно большое их количество в цикле, сильно увеличат объем дальнейшей вычислительной работы, не увеличив точности последующих построений и выводов. Напротив, слишком крупные интервалы не дадут достаточного количества средних точек, и не обеспечат убедительности выводов.

Мы, при обработке собранных в Ленинске материалов, остановились на 10-минутных интервалах. Эта величина интервала оказалась наиболее подходящей.

Таким образом, время чистого бурения в малом цикле мы разбили на интервалы:

0 — 10 минут,
 10 — 20 минут,
 20 — 30 минут,
 30 — 40 минут
 и т. д. до конца цикла.

Данные 5 и 6 граф таблицы 3 разбиваются по этим интервалам и в пределах каждого интервала вычисляются—средняя скорость чистого бурения и отвечающий ей момент времени, считая от начала чистого бурения в цикле.

Допустив так же, как это было сделано и выше, что изменение скорости в пределах принятых нами 10-минутных интервалов подчиняется закону прямой линии, можно принять, что средняя скорость бурения в пределах данного интервала представляет истинную скорость чистого бурения в момент времени, средний для отдельных моментов времени, вошедших в этот интервал.

Средняя скорость чистого бурения в каждом интервале получается методом арифметической середины из скоростей, отвечающих моментам времени, попавшим в данный интервал. Соответствующие средним скоростям моменты времени получают также методом среднего арифметического из отдельных моментов времени, находящихся в границах каждого из выделенных интервалов.

В качестве примера этих вычислений приведем определение средней скорости и отвечающего ей момента времени для IV категории пород на интервале от 40 до 50 минут.

<i>t</i>	<i>v</i>	<i>t</i>	<i>v</i>
42'30"	26,0	41'23"	27,6
43'42"	21,6	43'26"	29,2
47'30"	22,0	40'32"	14,1
45'05"	18,0	47'12"	23,7
40'05"	19,0	42'50"	22,2
49'51"	19,7	42'38"	19,2
47'20"	18,1	46'00"	36,0
42'34"	26,9	44'03"	21,4
46'04"	22,4	46'38"	9,9
40'44"	46,0	40'50"	24,0
40'07"	33,7		
40'29"	18,2		
47'05"	22,8	1008'38"	541,7

$$t = \frac{1008'38''}{23} = 43'51''$$

$$v = \frac{541,7}{23} = 23,5 \text{ мм/мин}$$

Таким образом мы получили, что через 43'51" после начала чистого бурения коронка будет иметь в породах IV категории скорость, равную 23,5 мм/мин.

Пользуясь изложенной выше методикой, нами были найдены средние скорости чистого бурения и отвечающие им моменты времени для каждого из десятиминутных интервалов отдельно для каждой из трех категорий пород, по которым удалось собрать достаточный материал. Данные эти приведены в таблице 4.

Следует отметить, что в зависимости от буримости в Ленинском районе нами выделено шесть категорий пород (с I по VI); но I категория (наносы) и II категория (выветрелые породы) для целей настоящей работы не представляли интереса и поэтому здесь не фигурируют. Что же касается VI категории (крепкие

Таблица 4.

Средние скорости чистого бурения на отдельных интервалах цикла (v) и отвечающие им моменты времени (t).

Категория пород Интервал	III			IV			V			Примечание
	v	t	n	v	t	n	v	t	n	
0—10	4,9	37,5	51	4,5	31,5	33	4,9	21,7	70	п—количество наблюдений, по которым определены v и t ; t в минутах v в мм/мин
10—20	14,8	36,7	43	14,4	27,5	30	14,8	18,1	49	
20—30	24,8	32,0	41	25,1	24,5	29	25,8	17,9	46	
30—40	35,2	32,2	34	35,1	24,7	22	35,5	17,6	35	
40—50	44,6	31,9	35	43,9	23,5	23	45,1	16,4	37	
50—60	54,4	29,3	26	55,1	21,1	22	54,6	15,2	32	
60—70	64,8	27,8	27	64,6	23,3	18	65,0	16,8	38	
70—80	75,3	27,2	18	74,7	21,9	10	75,5	16,2	29	
80—90	86,5	21,6	10	84,9	18,5	12	84,3	13,9	35	
90—100	97,0	23,9	8	92,9	20,9	6	95,8	14,3	27	
100—110	106,7	26,4	9	106,1	18,5	5	104,9	13,3	24	
110—120	115,5	26,3	5	113,1	20,1	1	115,0	14,7	26	
120—130	124,7	24,0	10	122,9	20,2	3	124,4	14,1	17	
130—140	140,4	23,1	6	134,6	18,4	4	134,9	15,0	22	
140—150				147,8	18,7	3	144,9	13,6	16	
150—160							155,1	13,5	15	
160—170							163,6	15,0	10	
170—180							175,5	12,9	11	
180—190							185,7	11,0	3	
190—200							193,7	11,5	7	

окремненные песчаники), то она встречается в Ленинском районе сравнительно редко и получить по ней достаточное количество наблюдений для построения выводов мы не смогли.

Таким образом, по изложенной выше методике обработаны наблюдения за буримостью пород III, IV и V категорий. Характеристика этих пород приведена в таблице 5.

Построим теперь для каждой категории пород графики, используя для этого данные, приведенные в таблице 4. Для этого в прямоугольной системе координат по оси абсцисс будем откладывать время чистого бурения, считая от начала работы коронки на забое в малом цикле, а по оси ординат—скорости чистого бурения, отвечающие соответствующим моментам времени. Соединив полученные таким образом точки прямыми, мы для каждой категории пород будем иметь ломаные линии, характери-

Таблица 5.

Характеристика пород III, IV и V категорий Ленинского района Кузбасса.

Категория	Характеристика пород	Коэффициенты	
		а	б
III	Песчаники средне и мелкозернистые средней крепости с известково-глинистым цементом (вскипают от HCl), часто с ясно выраженной полосчатостью. Песчаники глинистые мелко и тонкозернистые, плотные, иногда слегка выветрелые. Плотные углистые песчаники с известково-глинистым цементом. Аргиллиты, слегка затронутые выветриванием, иногда несколько размягченные. Смятые и разбитые аргиллиты тектонических зон.	195	3
IV	Аргиллиты, плотные с характерным раковистым изломом, обычного серого или темносерого цвета. Слабо песчаные аргиллиты.	152	3
V	Песчаники мелко и тонкозернистые, плотные, хорошо сцементированные известково-глинистым материалом (вскипают от HCl), крепкие, часто полосчатые. Сильно песчаные плотные крепкие аргиллиты, иногда с тонкими прослойками песчаника. Плотные, вязкие, резиноподобные аргиллиты без примеси песчаного материала, почти всегда черного или темносерого цвета.	109	3

зующие скорости бурения в отдельные промежутки времени (черт. 1, 2, 3). Понятно, что эти ломаные линии отнюдь не отражают с достаточной точностью действительного процесса изменения скорости чистого бурения во времени, процесса, который по своему своему существу происходит плавно, постепенно и следовательно должен представляться на чертеже плавной кривой, так же как и большинство количественных изменений различных физических величин, резкие изменения которых, скачки и т. п. характеризуют уже качественное изменение системы.

В данном случае ломаные линии вместо плавных кривых получились в результате целого ряда привходящих причин. К числу главнейших из этих причин относятся следующие.

а) Колебания величины давления на забой, учет которого, не имея в своем распоряжении соответствующих измерительных приборов, можно было поставить лишь очень грубо.

б) Колебания количества оборотов коронки на забое.

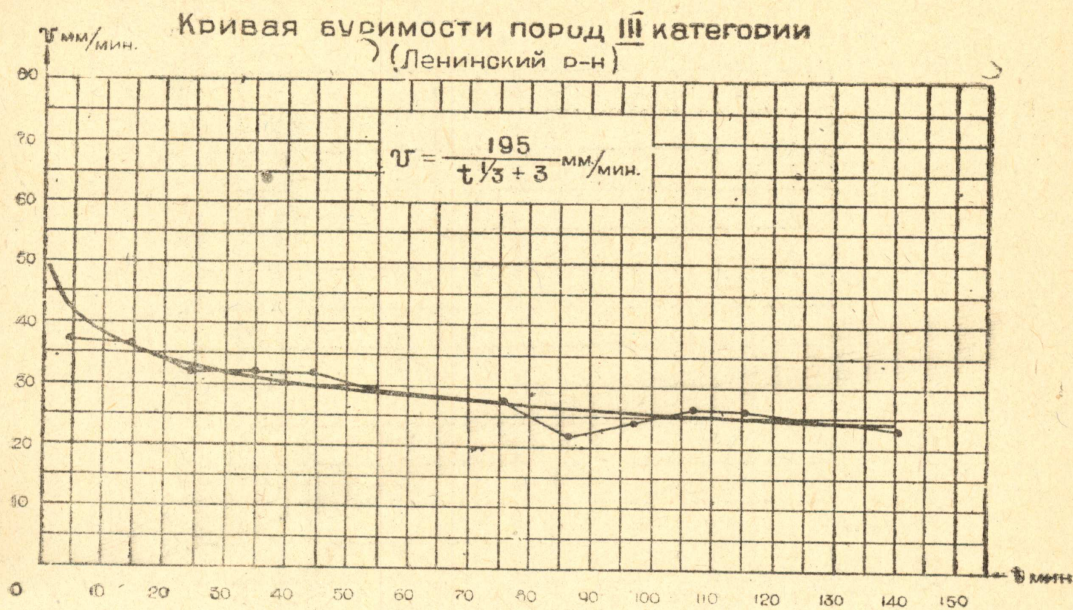
в) Колебания крепости в породах одной и той же категории.

г) Наличие в породах трещин.

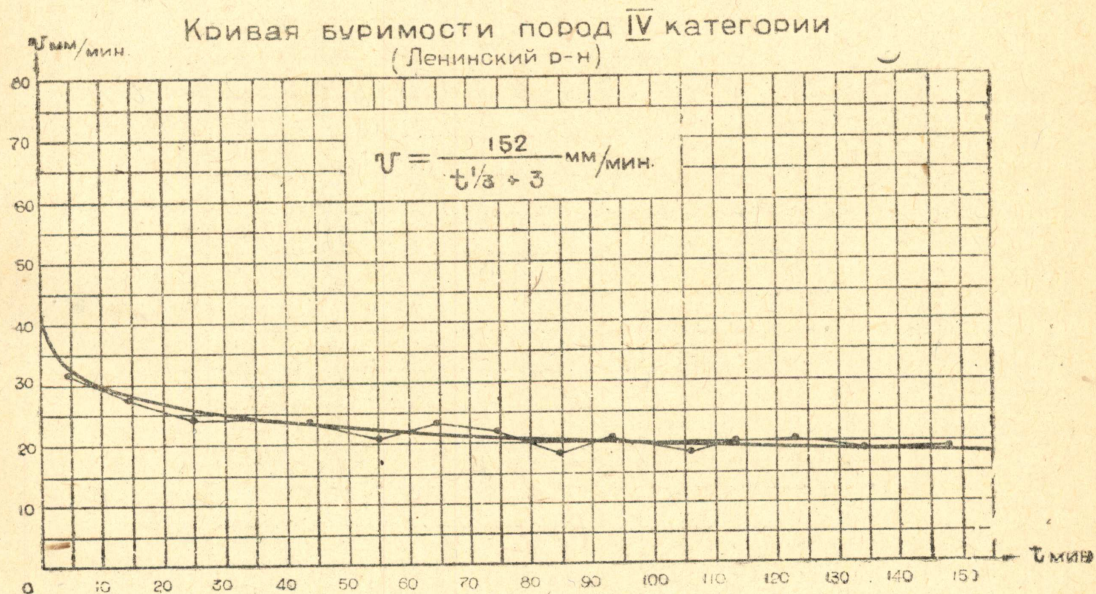
д) Различная интенсивность промывки скважины.

е) Не строго однородная заправка резцов в коронках и т. п.

Конечно, при вычислении средних скоростей по интервалам влияние этих факторов несколько сгладилось (особенно для тех

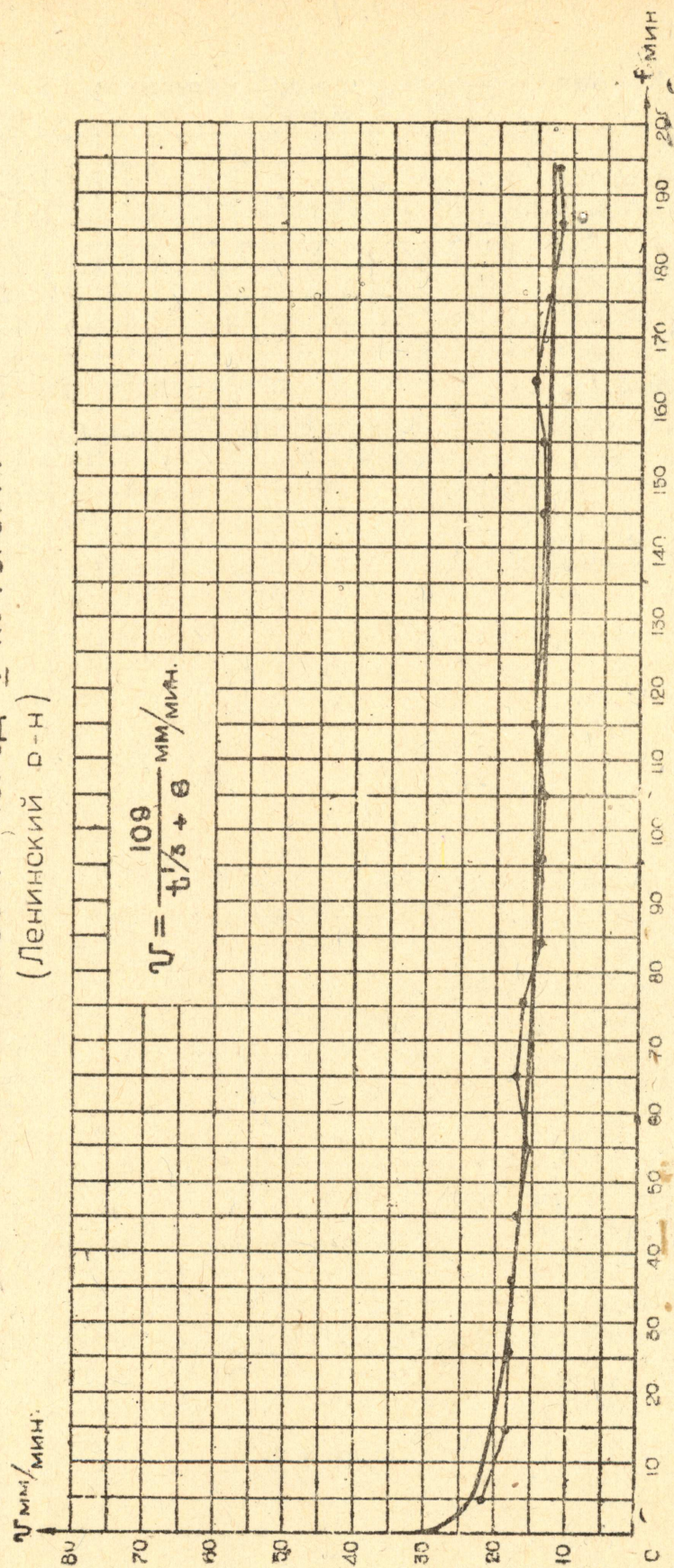


Чертеж 1.



Чертеж 2.

Кривая буримости пород $\bar{V}$ категории
(Ленинский р-н)



Чертеж 3.

интервалов, в пределы которых попало значительное количество наблюдений), целиком же исключить их влияние, само собой разумеется, невозможно. Поэтому, с целью получить более близкое к истине представление о законе изменения скорости чистого бурения, необходимо построить, так называемые, сглаживающие кривые.

Эти кривые сначала вычерчиваются на глаз, таким образом, чтобы экспериментальные точки располагались равномерно по обе стороны сглаживающей кривой, по возможности на равном от нее расстоянии и чтобы профиль кривой наиболее близко подходил к общему направлению, указываемому экспериментальными точками. Построенные кривые А. Виньерон (3) рекомендует улучшить, используя для этого, так называемый, метод разностей.

Сущность метода разностей заключается в следующем. Ось абсцисс, в нашем случае, следовательно, ось времени, разбивается на произвольные, но равные интервалы и для каждой точки деления берется ордината отвечающей ей точки на кривой. Затем вычисляются разности смежных ординат (разности первого порядка). Если кривая вычерчена правильно, изменение разностей должно идти монотонно, т. е. разности должны или плавно возрастать, или, как в нашем случае, плавно убывать или, наконец, могут быть равны друг другу. Если разности не подчиняются этому, и среди них имеют место неправильные скачки, кривая на соответствующем участке должна быть исправлена с тем, чтобы обеспечить плавное, направленное в одну сторону изменение разностей.

Этому же условию, очевидно, должны удовлетворять и разности второго порядка, т. е. разности между смежными разностями первого порядка и т. д.

Выправив таким образом наши, вычерченные первоначально на глаз, кривые, мы получим графическое выражение изменения скорости чистого бурения по каждой категории пород во времени, т. е. графическое изображение закона изменения скорости чистого бурения.

Интересно теперь найти аналитическое выражение нашего закона. Для этого проанализируем характер полученных кривых, названных нами кривыми буримости, и попробуем получить общее представление о конструкции, которую должно иметь аналитическое выражение интересующего нас закона.

Анализ кривых буримости позволяет подметить следующие их особенности.

1. Ординаты кривых закономерно снижаются по мере увеличения абсцисс, т. е. с увеличением продолжительности работы колонки на забое скорость чистого бурения падает. Следовательно, зависимость между t и v обратная.

2. Кривая располагается тем выше относительно оси абсцисс, чем ниже крепость категории пород, буримость которой она отображает.

Отсюда, а также учитывая существо самого процесса работы коронки на забое, можно сделать следующие выводы:

1. Зависимость между временем работы коронки на забое t и скоростью чистого бурения v — обратная.

2. При $t=0$, v должно быть максимальной конечной величиной.

3. По мере роста t , кривая должна асимптотически приближаться к оси абсцисс и при $t = \infty$, $v=0$, так как в противном случае мы войдем в противоречие с началами термодинамики.

Наиболее простым уравнением, удовлетворяющим всем поставленным выше условиям, будет уравнение вида:

$$v = \frac{a}{t^n + b}$$

Действительно:

1. При $t=0$, $v = \frac{a}{b}$ — максимальная конечная величина

2. При $t = \infty$, $v=0$

3. По мере увеличения t , скорость v падает.

Чем крепче категория породы, буримость которой выражается этим уравнением, тем меньше, очевидно, должно быть отношение $\frac{a}{b}$.

Что касается показателя степени n , то он может быть целым или дробным числом и находится путем подбора таким образом, чтобы был обеспечен характер кривой, наиболее близко отвечающий характеру экспериментальных кривых.

В результате такого подбора мы нашли, что характер кривой достаточно хорошо выдерживается при $n = 1/3$ и, следовательно, общее уравнение буримости пород приобретает вид

$$v = \frac{a}{t^{1/3} + b} \text{ мм/мин} \quad (3)$$

Следующая задача заключается в том, чтобы определить коэффициенты a и b для каждой из категорий пород. Задача эта может быть решена методом квадратов, сущность которого заключается в следующем.

В уравнение (3), которое удобнее представить в виде

$$a = vb + vt^{1/3}, \quad (4)$$

вместо v и t подставляются их экспериментальные значения, полученные для соответствующей категории пород, из таблицы 4. Таким путем мы получим, вообще говоря, n уравнений с двумя неизвестными a и b :

$$a = v_1 b + v_1 t_1^{1/3}$$

$$a = v_2 b + v_2 t_2^{1/3}$$

$$a = v_3 b + v_3 t_3^{1/3}$$

$$\vdots$$

$$\vdots$$

$$a = v_n b + v_n t_n^{1/3}$$

Из этих уравнений составляется два ряда уравнений. Один ряд получается путем умножения каждого из первоначальных уравнений на коэффициент, стоящий в соответствующем уравнении перед одним из неизвестных (например, перед a), а второй ряд — путем умножения каждого из первоначальных же уравнений на коэффициент, стоящий в соответствующем уравнении перед другим неизвестным (перед b).

В нашем случае коэффициентом перед неизвестным „ a “ является единица, следовательно, сами первоначальные уравнения составляют первый ряд. Второй ряд будет:

$$\begin{aligned} v_1 a &= v_1^2 b + v_1^2 t_1^{1/3} \\ v_2 a &= v_2^2 b + v_2^2 t_2^{1/3} \\ v_3 a &= v_3^2 b + v_3^2 t_3^{1/3} \\ &\vdots \\ v_n a &= v_n^2 b + v_n^2 t_n^{1/3} \end{aligned}$$

Найдем теперь сумму каждого из рядов. Получим

$$na = \left(\sum_{i=1}^{i=n} v_i \right) b + \sum_{i=1}^{i=n} v_i t_i^{1/3} \text{ (из первого ряда)}$$

$$\left(\sum_{i=1}^{i=n} v_i \right) a = \left(\sum_{i=1}^{i=n} v_i^2 \right) b + \sum_{i=1}^{i=n} v_i^2 t_i^{1/3} \text{ (из второго ряда)}$$

Решив эти два уравнения, найдем интересующие нас значения a и b , а подставив эти значения в уравнение (3), получим уравнение буримости для каждой из категорий пород, для которых эти значения были определены. В табл. 6 приведены найденные таким образом коэффициенты a и b и уравнения буримости.

Таблица 6.

Значения коэффициентов a и b для пород Ленинского района Кузбасса и уравнения буримости этих пород.

Категория пород	Коэффициенты		Уравнение буримости
	a	b	
III	195	3	$v = \frac{195}{t^{1/3} + 3} \text{ мм/мин}$
IV	152	3	$v = \frac{152}{t^{1/3} + 3} \text{ мм/мин}$
V	109	3	$v = \frac{109}{t^{1/3} + 3} \text{ мм/мин}$

Пользуясь найденными уравнениями буримости выстраиваются окончательные кривые буримости для каждой категории пород (черт. 1, 2 и 3). Следует отметить, что применяя этот метод, нет необходимости в предварительном улучшении построенных на глаз кривых методом разностей. Но это улучшение кривых является обязательным в том случае, если воспользоваться для определения коэффициентов a и b приближенным методом, который, вообще говоря, давая меньшую точность (хотя в нашем случае было получено практически почти полное совпадение), в то же время значительно менее трудоемок.

Этот упрощенный метод заключается в следующем.

Составляется 3—4 пары уравнений путем замены в уравнении

$$a = vb + vt^{1/3}$$

переменных v и t их значениями, полученными из графика, улучшенных методом разностей, кривых.

Затем каждая пара уравнений решается относительно a и b и за окончательные их значения принимаются средние значения найденных из отдельных пар уравнений величин.

В качестве примера этого метода приведем определение коэффициентов a и b для пород V категории, ограничившись для простоты только двумя парами уравнений.

Составляем уравнения и решаем их.

$$a_1 = 18,3 b_1 + 27^{1/3} \cdot 18,3$$

$$a_1 = 14,5 b_1 + 98^{1/3} \cdot 14,5$$

$$a_2 = 15,7 b_2 + 64^{1/3} \cdot 15,7$$

$$a_2 = 13,7 b_2 + 125^{1/3} \cdot 13,7$$

$$- \quad a_1 = 18,3 b_1 + 54,9$$

$$- \quad a_1 = 14,5 b_1 + 66,7$$

$$o = 3,8 b_1 - 11,8$$

$$b_1 = 3,1$$

$$a_1 = 18,3 \cdot 3,1 + 54,9$$

$$a_1 = 111,6$$

$$- \quad a_2 = 15,7 b_2 + 62,8$$

$$- \quad a_2 = 13,7 b_2 + 68,5$$

$$o = 2,0 b_2 - 5,7$$

$$b_2 = 2,9$$

$$a_2 = 15,7 \cdot 2,9 + 62,8$$

$$a_2 = 108,3$$

$$b = \frac{3,1 + 2,9}{2} = 3$$

$$a = \frac{111,6 + 108,3}{2} = 110$$

Пользуясь методом квадратов для вычисления коэффициентов a и b , мы получаем уравнение сглаживающей кривой, наиболее точно отвечающей экспериментальным точкам. Как известно, при этом сумма квадратов отклонений отдельных точек от кривой будет минимальной.

Интересно теперь определить среднее квадратичное отклонение, среднюю абсолютную и относительную ошибки, а также коэффициент вариации для каждой из категорий пород.

Для того, чтобы не загромождать излишними выкладками работы, произведем вычисление этих величин только для одной

из кривых, а для двух остальных кривых в таблице 8 приведем уже вычисленные значения.

В качестве примера используем кривую пород III категории. Отметим, кстати, что это наименее „удачная“ кривая, поскольку одна из экспериментальных точек ее ($t = 86,5$ $v = 21,6$) сравнительно далеко отошла от кривой. Эта точка при определении коэффициентов a и b кривой нами была отброшена, как явно дефективная. Отбросим эту точку и при вычислении ошибок. Что касается остальных экспериментальных точек как этой категории пород, так и двух других, то сглаживающие кривые в общем очень близко им отвечают.

Таблица 7.

Вычисление квадратов отклонений для III категории пород.

Время в мин с начала цикла t	Скорость бурения мм/мин		Отклоне- ние α	Квадрат откло- нения α^2
	Эксперимен- тальная v_e	По уравнению буримости v_m		
4,9	37,5	41,5	+4,0	16,0
14,8	36,7	35,7	-1,0	1,0
24,8	32,0	32,9	+0,9	0,8
35,2	32,2	31,1	-1,1	1,2
44,6	31,9	29,8	-2,1	4,4
54,4	29,3	28,7	-0,6	0,4
64,8	27,8	27,8	0,0	0,0
75,3	27,2	27,1	-0,1	0,0
97,0	23,9	25,7	+1,8	3,2
106,7	26,4	25,2	-1,2	1,4
115,5	26,3	24,8	-1,5	2,2
124,7	24,0	24,4	+0,4	0,2
140,4	23,1	23,8	+0,7	0,5
	378,3		+0,2	31,3

Найдем среднее квадратичное отклонение σ

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum \alpha^2}{n-1}} = \pm \sqrt{\frac{31,3}{12}}$$

$$\sigma = \pm 1,6 \text{ мм/мин} \quad (5)$$

Определим коэффициент вариации

$$W = \frac{\sigma}{M} 100\%$$

$$M = \frac{\sum v_e}{n} = \frac{378,3}{13}$$

$$M = 29,1 \text{ мм/мин.}$$

$$W = \frac{1,6}{29,1} \cdot 100\%$$

$$W = 5,5\% \quad (6)$$

Ошибка арифметической середины:

$$m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{1,6}{13}$$

$$m = 0,44 \text{ мм/мин} \quad (7)$$

Относительная ошибка арифметической середины

$$\mu = \frac{m}{M} \cdot 100 = \frac{0,44}{29,1} \cdot 100\%$$

$$\mu = 1,5\% \quad (8)$$

Каков же физический смысл найденных нами величин W и μ . Коэффициент вариации W до известной степени характеризует ту относительную ошибку, с которой мы, пользуясь уравнением буримости, можем определить скорость чистого бурения в данный момент, ибо он представляет собой среднее квадратичное отклонение экспериментальных точек от кривой буримости, отнесенное к средней величине скорости чистого бурения.

Относительная ошибка арифметической середины μ характеризует точность определения средней скорости чистого бурения на данном интервале, а, следовательно, она характеризует и величину пробуренного интервала за определенный промежуток времени.

Действительно

$$v_{cp} = \frac{S}{t} \pm m$$

$$S = (v_{cp} \pm m) t$$

$$\mu = \frac{m}{v_{cp}} \cdot 100 ; m = \frac{\mu v_{cp}}{100}$$

$$S = v_{cp} t \left(1 \pm \frac{\mu}{100} \right)$$

Таблица 8.

Среднее квадратичное отклонение, абсолютная и относительная ошибки и коэффициент вариации кривых буримости.

Категория пород	Среднее квадратичное отклонение в мм/мин	Ошибка арифметической середины в мм/мин	Относительная ошибка в %	Коэффициент вариации в %
III	1,6	0,44	1,5	5,5
IV	1,1	0,28	1,3	5,0
V	1,1	0,26	1,7	7,3

Как видно из таблицы 8, относительная ошибка μ и коэффициент вариации W различных категорий пород не особенно сильно колеблются и можно без большой погрешности принять в качестве их средних значений:

для относительной ошибки $\mu = \pm 1,5\%$

для коэффициента вариации $W = \pm 6\%$

В уравнении буримости

$$V = \frac{a}{t^{1/3} + b} \text{ мм/мин}$$

обращает на себя внимание следующий весьма интересный факт. Оказывается, что коэффициент b остается постоянным для всех трех категорий пород (см. табл. 6).

Это показывает, что характерным показателем буримости пород является коэффициент a , изменяющийся вместе с изменением категории пород по крепости: чем выше крепость, тем меньше коэффициент a .

Что касается величины коэффициента b , то он, отражая до известной степени крутизну кривой, будет, как это мы имеем некоторые основания думать, характеризовать технологический режим бурения, а также особенности коронки в смысле количества резцов, их формы и заточки, характера вставки и т. п. Основание это базируется на том, что по Анжерскому району, обработка материалов по которому еще не закончена, также намечается постоянство коэффициента b , который здесь имеет другую величину. Учтя, что режим бурения и тип коронок в Анжерском районе резко отличаются от таковых в Ленинском районе, сделанный вывод напрашивается сам собой. Конечно, интерпретация коэффициентов a и b в уравнении буримости нуждается еще в серьезной проверке и приведенные соображения относительно их роли в уравнении буримости, должны рассматриваться как предварительные.

Предлагаемое уравнение позволяет уточнить характеристику пород с точки зрения их буримости. Как известно, под буримостью породы понимают среднюю скорость чистого бурения, показанную коронкой по данной породе в течение определенного промежутка времени при определенном режиме бурения. Этой величиной буримости и пользуются на практике. Она же приводится обычно и в нормировочниках, причем зачастую без указания параметров режима бурения, характеристики коронки и интервала времени, в течение которого коронка работала при испытании породы и для которого дается средняя скорость бурения. Нередко также в нормировочниках, в качестве буримости пород, принимаются данные, полученные путем обработки статистическим методом производственных показателей.

Мы полагаем, что пора уже совершенно отказаться от использования производственных отчетов в качестве материала для выработки норм и показателей буримости пород, в связи с очень не точной (а иногда и прямо тенденциозной) документацией бу-

рового процесса, почти всегда наблюдающейся на производстве, в чем нам, да и каждому, кто непосредственно сталкивался с бурением, не раз, конечно, приходилось убеждаться.

Не может нас удовлетворить и буримость пород в том виде, в котором она дается в настоящее время, хотя бы и установленная по данным хронометражных наблюдений.

Действительно, буримость породы, т. е. скорость продвижения коронки в единицу времени, как было нами показано выше, является величиной переменной, зависящей от времени работы коронки на забое (по крайней мере для бурения твердыми сплавами), а также и от технологического режима бурения. Несомненно, что показатель буримости той или другой породы должен отражать эти особенности процесса.

Пользуясь же принятым в настоящее время показателем буримости, мы не имеем возможности учесть фактической средней скорости бурения за цикл. Так, если продолжительность чистого бурения в цикле принята больше, чем то время работы коронки, для которого был выведен данный показатель буримости, то средняя скорость бурения, полученная в этом цикле, будет меньше, чем показатель буримости породы.

Наоборот, при меньшей продолжительности чистого бурения в цикле средняя скорость чистого бурения будет больше, чем показатель буримости для данной породы. А это естественно отзовется и на выполнении сменной нормы.

Учитывая это обстоятельство, мы предлагаем в качестве показателя буримости породы пользоваться отношением (но не частным)

$$v_0 = \frac{a}{b} \quad (9),$$

полученным из уравнения буримости (3), если положить в нем $t = 0$.

Уравнение буримости для каждой породы должно быть при этом установлено при определенном стандартном технологическом режиме (количество оборотов, давление на забой) и для стандартной коронки (количество и форма резцов, угол их заточки, угол вставки). Для отклонений от стандарта должны быть даны соответствующие поправочные коэффициенты, подобные тем коэффициентам, которые мы имеем в настоящее время, например, для разных диаметров коронок и для разных углов наклона скважины.

При этом условии буримость пород будет иметь достаточно полную и точную характеристику. Пользуясь уравнением буримости (3), мы получим возможность определять среднюю скорость бурения при любой продолжительности работы коронки на забое, сможем найти рациональную продолжительность этой работы в цикле и, следовательно, правильно построить самый цикл.

Все эти вопросы разбираются нами в следующей главе.

Глава III.

Построение рационального малого цикла в колонковом бурении.

В главе 1 настоящей работы мы установили, что продолжительность малого цикла зависит от постоянной для любого цикла величины K (суммарная продолжительность операций цикла, затраты времени на которые являются постоянными) и двух переменных величин—глубины скважины L и интервала уходки за цикл S .

Найдем выражение для S из уравнения буримости (3).

$$S = \int V dt \quad (10)$$

$$S = \int \frac{a dt}{t^{1/3} + b} \quad (11)$$

Обозначим $t^{1/3}$ через Z , т. е.

$$t^{1/3} = Z,$$

тогда

$$t = Z^3$$

$$dt = 3 Z^2 dz$$

$$S = \int \frac{3 a Z^2 dz}{Z + b}$$

$$S = 3 a \int \frac{(Z + b) (Z - b) + b^2}{Z + b} dz$$

$$S = 3 a \int (Z - b) dz + 3 a b^2 \int \frac{dz}{Z + b}$$

$$S = \frac{3}{2} a Z^2 - 3 a b Z + 3 a b^2 \ln (Z + b) + C$$

Найдем постоянную C . При $t = 0$, очевидно

$$Z = 0 \quad \text{и}$$

$$S = 0$$

$$C = -3 a b^2 \ln b,$$

тогда

$$S = \frac{3}{2} a Z^2 - 3 a b Z + 3 a b^2 \ln \frac{Z + b}{b}$$

Заменив Z на $t^{1/3}$, получим

$$S = \frac{3}{2} a t^{2/3} - 3 a b t^{1/3} + 3 a b^2 \ln \frac{t^{1/3} + b}{b} \quad (12)$$

Разложим в ряд $\ln \frac{t^{1/3} + b}{b}$

Наиболее удобным, достаточно быстро сходящимся, является следующий ряд:

$$\frac{1}{2} \ln \frac{1+X}{1-X} = X + \frac{X^3}{3} + \frac{X^5}{5} + \dots + R_n$$

Найдем каково должно быть при этом значение X .
Очевидно должно быть:

$$\frac{1+X}{1-X} = \frac{t^{1/3} + b}{b}$$

$$b + b X = t^{1/3} + b - t^{1/3} X - b X$$

$$X(2b + t^{1/3}) = t^{1/3}$$

$$X = \frac{t^{1/3}}{2b + t^{1/3}} \quad (13)$$

Как известно, принятый нами ряд будет сходящимся при

$$-1 < X < 1$$

В нашем случае

$$0 < \frac{t^{1/3}}{2b + t^{1/3}} < 1,$$

т. е. условие сходимости соблюдено.

Таким образом,

$$\begin{aligned} \ln \frac{t^{1/3} + b}{b} &= 2 \frac{t^{1/3}}{2b + t^{1/3}} + \frac{2}{3} \left(\frac{t^{1/3}}{2b + t^{1/3}} \right)^3 + \\ &+ \frac{2}{5} \left(\frac{t^{1/3}}{2b + t^{1/3}} \right)^5 + \dots + R_n. \end{aligned}$$

Отбросим третий и следующие члены ряда. Как увидим ниже, ошибка в определении логарифма, а следовательно и величины S , не выйдет при этом за пределы практически допустимой.

Таким образом

$$\ln \frac{t^{1/3} + b}{b} = \frac{2 t^{1/3}}{2b + t^{1/3}} + \frac{2}{3} \left(\frac{t^{1/3}}{2b + t^{1/3}} \right)^3 \quad (14)$$

Возведя второй член равенства в куб и приведя оба члена к общему знаменателю, будем иметь

$$\ln \frac{t^{1/3} + b}{b} = \frac{4b^2 t^{1/3} + 4b t^{2/3} + \frac{4}{3}t}{4b^3 + 6b^2 t^{1/3} + 3b t^{2/3} + \frac{1}{2}t} \quad (15)$$

Подставим полученное для $\ln \frac{t^{1/3} + b}{b}$

значение в равенство (12). Тогда будем иметь:

$$S = \frac{3}{2} a t^{2/3} - 3ab t^{1/3} + 3ab^2 \frac{4b^2 t^{1/3} + 4b t^{2/3} + \frac{4}{3}t}{4b^3 + 6b^2 t^{1/3} + 3b t^{2/3} + \frac{1}{2}t}$$

Приведя правую часть к общему знаменателю, найдем:

$$\begin{aligned} S &= \frac{\frac{3}{4} a t^{5/3} + 3ab t^{4/3} + 4ab^2 t}{\frac{1}{2}t + 3b t^{2/3} + 6b^2 t^{1/3} + 4b^3} \\ S &= \frac{\frac{3}{4} a t (t^{2/3} + 4b t^{1/3} + \frac{16}{3}b^2)}{\frac{1}{2}(t + 6b t^{2/3} + 12b^2 t^{1/3} + 8b^3)} \\ S &= \frac{\frac{3}{4} a t \left[(2b + t^{1/3})^2 + \frac{4}{3}b^2 \right]}{\frac{1}{2} \left(2b + t^{1/3} \right)^3} \\ S &= \frac{\frac{3}{4} a t (2b + t^{1/3})^2 + ab^2 t}{\frac{1}{2} (2b + t^{1/3})^3} \\ S &= \frac{\frac{3}{2} a t}{2b + t^{1/3}} + \frac{2ab^2 t}{(2b + t^{1/3})^3} \quad (16) \end{aligned}$$

окончательно

или

$$S = \frac{at}{2b + t^{1/3}} \left[1,5 + \frac{2b^2}{(2b + t^{1/3})^2} \right] \text{ мм} \quad (17)$$

Применительно к нашему случаю, т. е. при $b=3$, уравнение примет вид

$$S = \frac{at}{6 + t^{1/3}} \left[1,5 + \frac{18}{(6 + t^{1/3})^2} \right] \text{ мм} \quad (18)$$

График этого уравнения дан на черт. 4.

Отбросив при разложении в ряд $\ln\left(\frac{t^{1/3} + b}{b}\right)$ члены, начиная с пятой степени и выше, мы допустили ошибку, равную остаточному члену, который для принятого нами ряда имеет вид

$$R_n = \int_0^x \frac{\tau^n}{1 - \tau^2} d\tau \quad (19)$$

Причем при

$$-1 < X < +1$$

будет иметь место неравенство

$$R_n = \int_0^x \frac{\tau^n}{1 - \tau^2} dt < \frac{X^{n+1}}{n+1} \cdot \frac{1}{1 - X^2}, \text{ т. е.}$$

в нашем случае

$$R_n < \frac{X^5}{5} \cdot \frac{1}{1 - X^2}$$

или, подставив вместо X его значение из (13), получим

$$\text{или} \quad R_n < \frac{t^{5/3}}{5(2b + t^{1/3})^5} \cdot \frac{1}{1 - \left(\frac{t^{1/3}}{2b + t^{1/3}}\right)^2}$$

$$R_n < \frac{t^{5/3}}{20b(2b + t^{1/3})^3(b + t^{1/3})} \quad (20)$$

Найдем теперь предельную ошибку определения S для $t=27$, для $t=125$ и для $t=343$ мин.

Найдем сначала предельную величину R_n

$$R_{(27)} < \frac{3^5}{20 \cdot 3 \cdot (2 \cdot 3 + 3)^3 \cdot (3 + 3)} = 0,00093$$

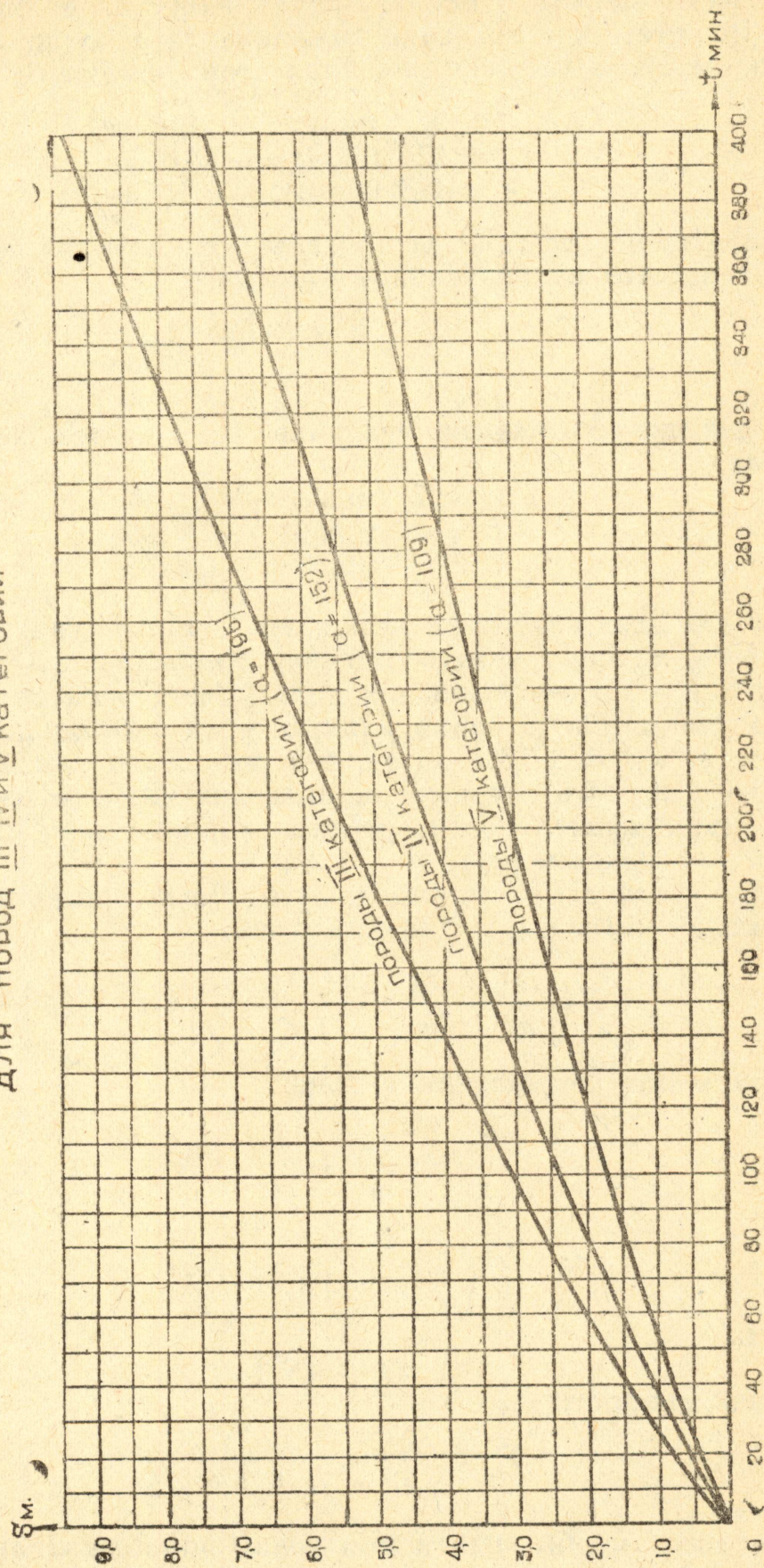
$$R_{(125)} < \frac{5^5}{20 \cdot 3 \cdot (2 \cdot 3 + 5)^3 \cdot (3 + 5)} = 0,00489$$

$$R_{(343)} < \frac{7^5}{20 \cdot 3 \cdot (2 \cdot 3 + 7)^3 \cdot (3 + 7)} = 0,01275$$

Для того, чтобы найти возможную предельную ошибку определения S остаточный член R_n должен быть умножен на $3ab^2$ (см. уравн. 12).

$$\begin{aligned} 3ab^2 R_{(27)} &< 0,0009 \cdot 27 a; & 3ab^2 R_{(27)} &< 0,0251 a \\ 3ab^2 R_{(125)} &< 0,0049 \cdot 27 a; & 3ab^2 R_{(125)} &< 0,1323 a \\ 3ab^2 R_{(343)} &< 0,0127 \cdot 27 a; & 3ab^2 R_{(343)} &< 0,3443 a \end{aligned}$$

График уравнения $S = \frac{at}{6+t/3} \left[1,5 + \frac{18}{(6+t/2)^2} \right]$
 для пород III, IV и V категорий



Чертеж 4.

Таким образом, ошибка растет вместе с увеличением продолжительности чистого бурения, причем наибольшей она будет для пород III категории, значение коэффициента a которой равно 195.

Предельная возможная величина этой ошибки будет:

$$\begin{aligned} \text{для } t &= 27 \text{ минут} & - & 4,9 \text{ мм} \\ t &= 125 \text{ минут} & - & 25,8 \text{ мм} \\ t &= 343 \text{ минуты} & - & 67,1 \text{ мм}, \end{aligned}$$

т. е. ошибка не выходит за пределы точности наблюдений.

Что касается относительной ошибки

$$\lambda = \frac{3 a b^2 R_n}{S} \cdot 100\%,$$

то предельная возможная величина ее для тех же значений t составит:

$$\begin{aligned} t &= 27 \text{ минут} & - & 0,47\% \\ t &= 125 \text{ минут} & - & 0,71\% \\ t &= 343 \text{ минуты} & - & 0,81\% \end{aligned}$$

причем для всех категорий пород эта ошибка будет одинаковой. Как видно, максимальная возможная ошибка не выходит за пределы 1% и ею без ущерба для дела можно пренебречь.

Определим теперь рациональную продолжительность чистого бурения в малом цикле. Очевидно для этого нам нужно найти среднюю скорость бурения в пределах цикла и выяснить при какой продолжительности работы коронки на забое эта скорость будет максимальной.

Выше в главе I мы показали, что общая продолжительность цикла может быть выражена формулой:

$$T = t + S \left(\frac{t_k}{n} + \frac{t_{ш}}{m} + \frac{t_n}{l} \right) + \frac{L}{l} (t_c + t_n) + K \quad (20)$$

Примем для сокращения письма

$$\frac{t_k}{n} + \frac{t_{ш}}{m} + \frac{t_n}{l} = A \quad (21)$$

и

$$\frac{L}{l} (t_c + t_n) + K = B \quad (22)$$

Тогда

$$T = t + AS + B \quad (23)$$

а средняя скорость

$$V_{cp} = \frac{S}{T} = \frac{S}{t + AS + B} \quad (24)$$

Для того, чтобы найти при какой продолжительности чистого бурения t средняя скорость V_{cp} будет максимальной, мы

должны найти максимум функции, т. е. взять первую производную от S по t уравнения (24) и, приравняв ее нулю, определить t .

$$V_{cp}' = \frac{S'(AS+B+t) - (AS+B+t)'S}{(AS+B+t)^2} = 0$$

$$ASS' + BS' + tS' - ASS' - S = 0$$

Так как

$$S' = V = \frac{a}{t^{1/3} + b},$$

а по уравнению (16)

$$S = \frac{\frac{3}{2}at}{2b + t^{1/3}} + \frac{2a + b^2t}{(2b + t^{1/3})^3},$$

то

$$\frac{Ba}{b + t^{1/3}} + \frac{at}{b + t^{1/3}} - \frac{\frac{3}{2}at}{2b + t^{1/3}} - \frac{2ab^2t}{(2b + t^{1/3})^3} = 0$$

или, сократив a и перенеся отрицательные члены в правую часть уравнения, получим

$$\frac{B}{b + t^{1/3}} + \frac{t}{b + t^{1/3}} = \frac{\frac{3}{2}t}{2b + t^{1/3}} + \frac{2b^2t}{(2b + t^{1/3})^3}$$

Приведя члены уравнения к общему знаменателю и освободившись от него, будем иметь

$$B(2b + t^{1/3})^3 = \frac{1}{2}t^2 + \frac{3}{2}bt^{5/3} + 2b^2t^{1/3}$$

или, умножив обе части уравнения на 2 и вынося $t^{1/3}$ за скобки, получим окончательно

$$2B(2b + t^{1/3})^3 = t^{1/3}[(2b + t^{1/3})^2 - bt^{1/3}] \quad (25)$$

Это уравнение аналитическим путем не решается. Воспользуемся для его решения графическим методом. Для этого перепишем уравнение (25) в виде

$$\frac{2B}{t^{1/3}} = \frac{(2b + t^{1/3})^2 - bt^{1/3}}{(2b + t^{1/3})^3} \quad (26)$$

и примем

$$\frac{2B}{t^{1/3}} = y \quad (27)$$

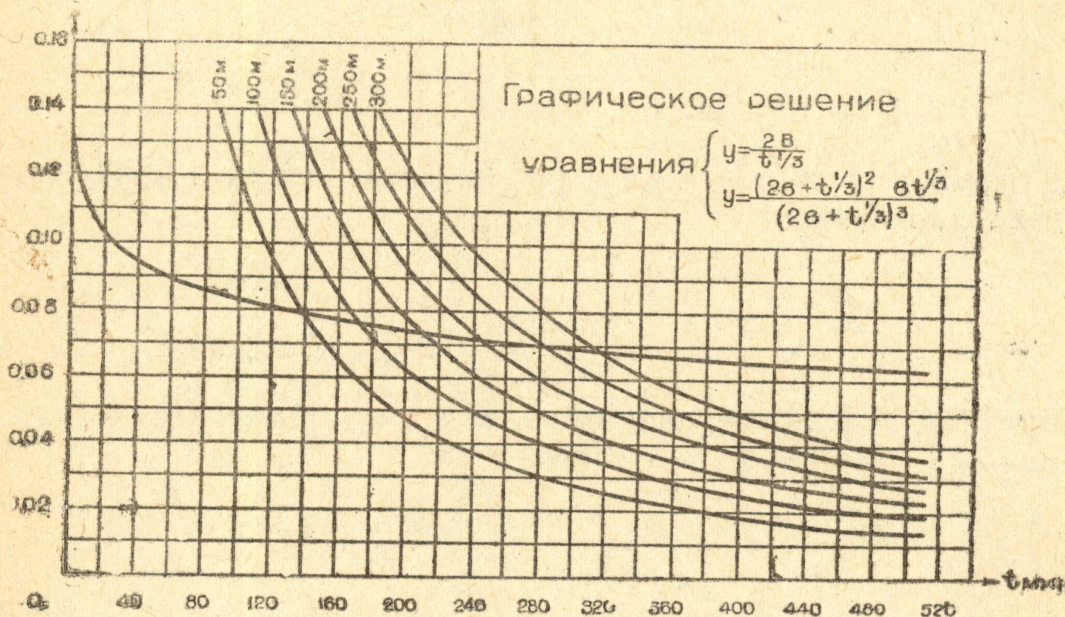
тогда, очевидно, и

$$\frac{(2b + t^{1/3})^2 - bt^{1/3}}{(2b + t^{1/3})^3} = y \quad (28)$$

Уравнение (27) представляет систему кривых, причем каждая кривая этой системы будет отвечать определенной глубине скважины, так как величина B является функцией глубины скважины и только глубины. Других переменных B не содержит (см. ур. 22).

Наоборот, уравнение (28) есть функция характера проходимых пород и технологического режима бурения, отражаемых в уравнении коэффициентом b .

Следует отметить, что в нашем конкретном случае для всех трех категорий пород коэффициент b остается постоянным. Это и понятно, так как технологический режим бурения сохранялся более или менее постоянным, а абразивные свойства пород изменялись, очевидно настолько незначительно, что это не отразилось на интенсивности затупления резцов. Что же касается крепости пород, то на величину относительной скорости затупления она и не должна оказывать влияния.



Чертеж 5.

Таким образом, уравнение (28) даст нам только одну кривую (при $b=3$), пересечение которой с системой кривых уравнения (27) даст ряд точек, координаты которых по оси времени t будут являться корнями нашего уравнения, т. е. дадут оптимальную продолжительность чистого бурения в цикле при соответствующих пересекаемым кривым глубинах скважины.

Графическое решение уравнения (27—28) применительно к разбираемому конкретному примеру дано на черт. 5.

Оптимальная продолжительность чистого бурения на различных глубинах скважины приведена в таблице 9, а уходка за цикл по породам разных категорий в таблице 11.

При определении оптимальной продолжительности чистого бурения t были приняты значения величин, входящих в уравнения (27) и (28), указанные в таблице 10.

Таблица 9.

Оптимальная продолжительность чистого бурения на различных глубинах скважины для Ленинского района Кузбасса.

Глубина в м L	50	100	150	200	250	300
Оптимальная продолжительность чистого бурения в мин t . .	138	175	211	246	281	316

Таблица 10.

Продолжительность отдельных операций малого цикла в минутах.

Операция	t_k ¹⁾	t_{uu} ²⁾	t_n ³⁾	t_c ³⁾	t'_2	t''_3	t_4	t_5	t_6 ⁴⁾
Продолжительность в минутах	0,65	1,45	0,61	0,47	3,8	3,2	5,9	5,6	0,3

Примечание:

1) Полезная длина кремальеры 0,25 м.

2) Длина наращиваемых штанг 1,5 м.

3) Длина свечи 6 м.

4) При сменных колонковых снарядах.

Эти значения были установлены по данным хронометражных работ, проводившихся в буровых бригадах Анжерской и Ленинской геолого-разведочных контор Кузбасскомбината в 1937 г.

Таблица 11.

Оптимальная уходка за малый цикл на разных глубинах скважины и по разным категориям пород (в метрах).

Глубина скважины в м Категория пород	50	100	150	200	250	300
III	3,9	4,8	5,6	6,3	7,0	7,7
IV	3,1	3,7	4,4	4,9	5,5	6,0
V	2,2	2,7	3,1	3,5	3,9	4,3

Подсчитаем теперь общую продолжительность малого цикла для различных глубин скважины и разных категорий пород. Для этого следует воспользоваться уравнениями:

$$t_1 = \frac{S}{n} t_k + \frac{S}{m} t_{uu} \quad t'_2 = \frac{L}{l} t_c$$

$$t'_3 = \frac{L+S}{l} t_n$$

а также данными таблиц 9, 10 и 11.

Результаты этих вычислений сведены в таблице 12.

Проходка и затраты времени на операции малого цикла

Глубина скважины в м	50			100		
	III	IV	V	III	IV	V
Операции в мин.						
Операции, продолжительность которых зависит от проходки:						
Чистое бурение t	138	138	138	175	175	175
Операции, сопутствующие чистому бурению t_1	13,9	11,1	7,8	17,1	13,2	9,6
Итого	151,9	149,1	145,8	192,1	188,2	184,6
Операции, продолжительность которых зависит от глубины скважины:						
Спуск свечей t'_2	3,9	3,9	3,9	7,8	7,8	7,8
Подъем свечей t'_3	5,5	5,4	5,3	10,7	10,5	10,4
Итого	9,4	9,3	9,2	18,5	18,3	18,2
Операции, продолжительность которых в цикле постоянна:						
Прочие операции при спуске инструмента в скважину t''_2	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8
Прочие операции при подъеме инструмента из скважины t''_3	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
Постановка инструмента на забой t_4	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9
Операции по заклинке и срыву керна t_5	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
Операции с колонковым снарядом t_6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Итого	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8
Всего	180,1	177,2	173,8	229,4	225,3	221,6
Процент чистого бурения	76,6	77,9	79,4	76,3	77,7	79,0

150			200			250			300		
III	IV	V	III	IV	V	III	IV	V	III	IV	V
211	211	211	246	246	246	281	281	281	316	316	316
20,0	15,7	11,1	22,5	17,5	12,5	25,0	19,6	13,9	27,5	21,4	15,3
231,0	226,7	222,1	268,5	263,5	258,5	306,0	300,6	294,9	343,5	337,4	331,3
11,7	11,7	11,7	15,7	15,7	15,7	19,6	19,6	19,6	23,5	23,5	23,5
15,8	15,7	15,6	21,0	20,8	20,7	26,1	26,0	25,8	31,3	31,1	30,9
27,5	27,4	27,3	36,7	36,5	36,4	45,7	45,6	45,4	54,8	54,6	54,4
3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8
3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9
5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
18,8	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8
277,3	272,9	268,2	324,0	318,8	313,7	370,5	365,0	359,1	417,1	410,8	404,5
76,1	77,3	78,7	75,9	77,2	78,4	75,8	77,0	78,2	75,8	76,9	78,1

В таблице 12 обращают на себя внимание следующие моменты.

1. Сравнительно большая продолжительность чистого бурения в цикле и, соответственно, высокий процент чистого бурения. В связи с этим стоят и значительные уходы за цикл (таблица 11), большие, чем это обычно имеет место в практике.

Большая продолжительность чистого бурения находит свое объяснение в том, что в Ленинской геолого-разведочной конторе применялись коронки с незаточенными резцами. Это обусловило небольшую скорость затупления (вернее сглаживания углов) резцов, а следовательно увеличило и время рациональной работы коронки на забое.

Но кроме того, из этого же факта следует и другой вывод, а именно: продолжительность работы коронки на забое должна быть увеличена, по сравнению с тем, что мы имели в Ленинске. Это вызовет применение длинных колонковых снарядов, особенно на глубоких скважинах и в некрепких породах.

2. Продолжительность рационального пребывания коронки на забое растет с увеличением глубины скважины. Это понятно, так как чем глубже скважина, тем больше времени тратится на спуско-подъемные операции и, следовательно, тем реже должен подниматься снаряд на поверхность.

3. Время чистого бурения не зависит от категории буримости пород. Очевидно, это стоит в связи с тем, что абразивные свойства пород, с которыми мы имели дело, и их твердость разнятся не настолько сильно, чтобы сказаться на скорости затупления резцов. Следует отметить, что на скорости затупления резцов заметно не сказывается и характер пород—и аргиллиты и песчаники Ленинского района дают одну и ту же скорость затупления.

4. Процент чистого бурения понижается вместе с увеличением глубины скважины, но очень незначительно (не больше 1,5%).

5. Процент чистого бурения повышается с повышением крепости пород (на 2, 5—3% между крайними категориями).

Заключение.

Таким образом, в результате произведенного исследования мы получили следующие результаты.

1. Установлен закон изменения скорости продвижения коронки в зависимости от продолжительности ее работы на забое.

2. Найдена и предлагается более рациональная характеристика буримости пород.

3. Разработана методика определения оптимальной продолжительности работы коронки на забое.

4. Разработана методика построения рационального рабочего цикла при колонковом бурении твердыми сплавами.

Конечно, результаты нашего исследования далеко не исчерпывают всего многообразия вопросов, возникающих перед руково-

дителем буровых работ в связи с построением рационального рабочего цикла. В частности, чрезвычайно интересной проблемой, оставшейся у нас не освещенной, но имеющей исключительно большое значение в деле повышения производительности труда на буровых работах, является вопрос о правильном выборе угла приострения резцов, их количества в коронке и выяснение влияния этих факторов на скорость затупления резцов.

Очень важной задачей является также установление оптимального осевого давления на коронку и рационального количества ее оборотов. Всё это—факторы, непосредственно влияющие на продолжительность работы коронки на забое.

Разрешению этих вопросов посвящено не мало работ, но к сожалению исследователи большей частью рассматривали каждый из этих факторов изолированно, вне их взаимной связи. Это привело к тому, что мы имеем сейчас более или менее определенные рекомендации для каждого из показателей режима бурения, но нигде не находим указаний, касающихся их влияния на скорость затупления резцов, на продолжительность работы коронки на забое. Эти показатели вырабатывались без учета обеспечения максимальной средней скорости бурения за малый цикл, а между тем только эта скорость является решающей в деле повышения производительности труда. Поэтому будущие исследования в области выработки оптимальных показателей режима бурения должны проводиться с учетом необходимости получить максимальную среднюю скорость за цикл.

Список использованной литературы.

1. Е. В. Боровской и Ф. А. Шамшев.—Изучение технологического процесса бурения. Труды ЦНИГРИ в. 95, 1937 г.
2. Б. И. Воздвиженский и Н. И. Куличихин.—Материалы к определению влияния качества твердого сплава, числа оборотов и давления на производительность колонкового бурения. Труды МГРИ т. III, 1936 г.
3. Виньерон А.—Обработка результатов физико-химических наблюдений. Москва, 1936 г.
4. В. Е. Доенин. Как вести наблюдение за временем чистого бурения. Журнал „Разведка Недр“ № 17, 1936 г.
5. М. В. Мачинский.—Теория бурения цробью, а также суррогатного и алмазного. Труды ЦНИГРИ, в. 95, 1937 г.
6. В. А. Нуднер.—Анализ работы буровых бригад Анжерской и Ленинской геолого-разведочных контор Кузбассугля. Материалы к нормированию колонкового бурения. Фонды Кузбассугля. Томск, 1938 г.
7. Ф. А. Шамшев и Е. В. Боровской. К проблеме буримости горных пород. ЦНИГРИ, 1927 г.
8. Е. Ф. Эпштейн.—Ударно-вращательный электробур для бурения шпуров. Сборник. Применение твердых сплавов в горной и нефтяной промышленности. ОНТИ, 1937 г.