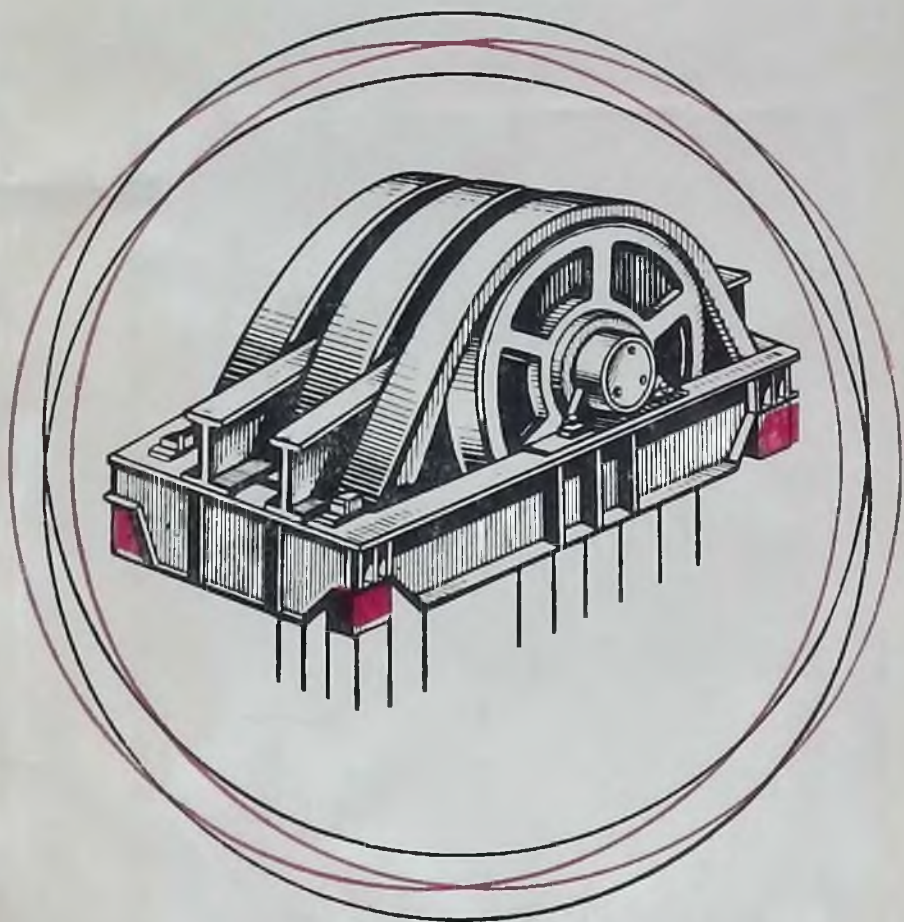


622.24

М 47

А. М. МЕЛИК-ШАХНАЗАРОВ, А. С. ГРОБШТЕИН

**ПРИБОРЫ
ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВЕСА
БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА**



Книга должна быть возвращена не
позже указанного здесь срока

Количество предыдущих выдач _____

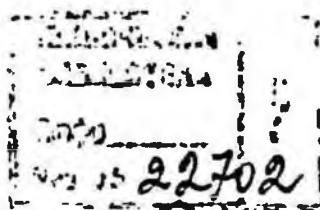
23/XI 1960г

63-1971

900
А. М. МЕЛИК-ШАХНАЗАРОВ,
А. С. ГРОБШТЕГН

622.24
1747

ПРИБОРЫ
ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВЕСА
БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»
Москва 1971

Приборы для контроля веса бурового инструмента.
А. М. Мелик-Шахназаров, А. С. Гробштейн. М., изд-во
«Недра», 1971, стр. 104.

В книге рассматриваются методы и приборы для
контроля веса бурового инструмента и измерения осе-
вой нагрузки на долото.

Описаны датчики и вторичные приборы для изме-
рения веса инструмента и нагрузки на долото на не-
подвижном конце каната, крюке и кронблоке.

Рассмотрены глубинные устройства для контроля
осевой нагрузки на долото.

Таблиц 5, рисунков 46, библиография — 56 на-
званий.

ВВЕДЕНИЕ

При проводке нефтяных и газовых скважин контролируются различные технологические параметры процесса бурения, геометрические параметры скважины, а также работа механизмов бурового оборудования. К важнейшим контролируемым параметрам относятся вес бурового инструмента и осевая нагрузка на долото. Непрерывный контроль и регистрация указанных параметров обязательны в процессе бурения и спуско-подъемных операций, от правильности их осуществления в значительной степени зависит скорость проводки скважин и безаварийность ведения буровых работ.

В процессе бурения важно поддерживать постоянную нагрузку на долото и обеспечивать по возможности равномерную подачу бурового инструмента. Для этой цели применяются автоматы, регулирующие подачу в зависимости от величины осевой нагрузки на долото.

Правильность выбора осевой нагрузки предопределяет получение максимума механической скорости и проходки на долото.

Контроль глубинными приборами за осевой нагрузкой на долото непосредственно на забое — принципиально наиболее точный метод. При электробурении эта задача в значительной степени разрешена [40], но сам объем электробурения невелик. При роторном и турбинном бурении практическое осуществление контроля глубинных параметров сталкивается с большими трудностями, связанными с обеспечением надежного канала связи с забоем на больших глубинах [11]. Поэтому в настоящее время постоянный контроль за осевой нагрузкой на долото практически осуществляется только косвенными методами, с помощью наземных приборов — измерителей веса бурового инструмента, — которые при правильном проведении измерений позволяют осуществлять контроль с достаточно высокой точностью, особенно при бурении вертикальных скважин.

При косвенных методах контроля осевая нагрузка на долото определяется как разность между весом инструмента, свободно висящего на крюке, когда долото не касается забоя, и нагрузкой на крюке во время бурения, когда часть веса передается на долото. Помимо косвенного определения осевой нагрузки на долото с по-

мощью приборов осуществляется непрерывный контроль за нагрузкой на крюке при спуско-подъемных операциях и ликвидации аварий, а также определяется момент захвата инструмента при ловильных работах.

При спуско-подъемных операциях изменение нагрузки на крюке по сравнению с весом свободно висящего на крюке инструмента свидетельствует об увеличении трения колонны о стенки скважины или заклинивании инструмента, что может привести к прихвату.

Наибольшие нагрузки в процессе проводки скважин возникают при спуске технических колонн и во время операций по ликвидации прихвата. Для ограничения недопустимых перегрузок на буровых установках иногда применяются устройства защиты, связанные с индикаторами веса, которые автоматически отключают и одновременно тормозят барабан буровой лебедки.

Требования, предъявляемые к средствам контроля, повышаются в связи с увеличением глубины скважины и предстоящим сверхглубоким бурением на мантию земной коры. Существующие гидравлические индикаторы веса бурового инструмента, измеряющие натяжение неподвижного конца каната, не удовлетворяют условиям глубокого бурения из-за недостаточной чувствительности, влияния к. п. д. талевой системы и т. п.

В последние годы работы по исследованию и разработке новых методов и приборов контроля веса бурового инструмента и осевой нагрузки ведутся в ряде организаций: ВНИИКАНефтегаз, СКБ Министерства геологии СССР, Азербайджанском научно-исследовательском электротехническом институте (АзНИЭТИ), Куйбышевском научно-исследовательском институте нефтяной промышленности (Куйбышевский НИИНП), Куйбышевском политехническом институте, Азербайджанском институте нефти и химии (АзИНЕФТЕХИМ) им. М. Азизбекова, Гипронефтемаш, ВНИИБТ, б. Грозненском филиале ВНИИКАНефтегаз и др.

В работе в основном использованы материалы исследований и разработок, выполненных под руководством и при непосредственном участии авторов, а также материалы, опубликованные в периодической печати.

Авторы приносят благодарность сотрудникам, принимавшим участие в разработках и исследованиях отдельных устройств, описанных в книге.

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВЕСА БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА И ОСЕВОЙ НАГРУЗКИ НА ДОЛОТО

Измерение веса бурового инструмента и контроль осевой нагрузки на долото с помощью наземных приборов можно производить следующими методами:

по натяжению неподвижного конца талевого каната; непосредственными измерениями на буровом крюке или вертлюге;

измерением усилий, передаваемых кронбломом на подкронблочные балки.

В геологоразведочных буровых установках, оснащенных гидравлической системой подачи, измерение веса инструмента и нагрузки на долото осуществляется датчиками, контролирующими давление в гидросистеме подачи.

ИЗМЕРЕНИЕ ВЕСА БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА ПО НАТЯЖЕНИЮ НЕПОДВИЖНОГО КОНЦА ТАЛЕВОГО КАНАТА

Данный метод, получивший широкое распространение, отличается от других простотой монтажа силоизмерительного датчика. Измерители веса бурового инструмента, работающие на этом принципе, по способу монтажа датчика можно разделить на две группы. К первой группе относятся измерители, в которых датчики монтируются непосредственно на канате; в измерителях второй группы датчики устанавливаются в специальном устройстве, предназначенном для крепления каната.

Измерители с датчиками, монтируемыми непосредственно на канате

Большинство таких измерителей работает на принципе измерения горизонтальной составляющей натяжения неподвижного конца талевого каната, предваритель-

по преломлению на упругом элементе, что позволяет производить монтаж датчиков без рассечки каната. Принципиальная схема датчика показана на рис. 1.

Талевый канат проходит через крайние ролики A , C и преломляется в среднем ролике B на угол α_k . Под действием веса бурового инструмента канат растягивается усилиями T_n . Горизонтальная составляющая растягивающих усилий F_k , действующая на средний ролик, определяется как

$$F_k = 2T_n \sin \alpha_k. \quad (1)$$

Поскольку угол α_k мал, то можно принять

$$\sin \alpha_k \approx \operatorname{tg} \alpha_k = \frac{h}{l}.$$

Тогда

$$T_n = \frac{F_k l}{2h}. \quad (2)$$

С помощью гидравлического, электрического или электромеханического преобразователя Π , связанного со средним роликом, сила F_k преобразуется в пропорциональные величины давления или электрического напряжения U_b , которые измеряются вторичными приборами.

Малая величина силы F_k , не превышающая 10—15% усилий, растягивающих канат, способствует уменьшению габаритных размеров и веса преобразователей.

Преимуществом измерения горизонтальной составляющей натяжения неподвижного конца талевого каната является также бесперебойность работы буровой установки при монтаже и демонтаже датчиков.

Указанному способу измерения присущи следующие существенные недостатки:

показания датчиков зависят от диаметра и жесткости каната. По-

скольку профиль витого каната изменяется вдоль его длины, величина прогиба каната в датчике, установленном на буровой, может отличаться от прогиба, сущест-

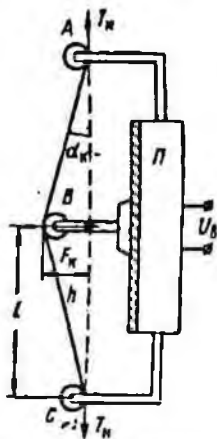


Рис. 1. Принцип действия датчика веса, монтируемого непосредственно на неподвижном конце талевого каната.

вовавшего во время тарировки. Вследствие этого ошибка в измерениях может достигать 10—15%;

перемещение подвижного среднего ролика под действием измеряемой силы изменяет угол α_k и, следовательно, вызывает нелинейность шкалы измерителя;

при растяжении каната происходит его смещение относительно опорных роликов. Возникающие при этом в роликах силы трения являются причиной гистерезиса в показаниях измерителей (например, величина гистерезиса в гидравлическом датчике, называемом трансформатором давления, достигает 2,5%).

Измерение натяжения неподвижного конца каната может производиться также датчиком, размещенным между рамным брусом и канатом. В этом случае одна сторона датчика прикрепляется к рамному брусу, а другая служит для присоединения неподвижного конца. Недостатками такой конструкции являются усложнение монтажа и демонтажа датчика и увеличение его габаритов, поскольку датчик полностью воспринимает растягивающие усилия на неподвижном конце. В настоящее время подобные конструкции используются лишь в буровых станках ЗИФ для колонкового геологоразведочного бурения (динамометры ДПУ механического типа и ДНР с магнитоупругим датчиком).

*Измерители с датчиками, устанавливаемыми
в специальном устройстве, предназначенном
для крепления каната*

Устройство для крепления неподвижного конца каната со встроенным датчиком показано на рис. 2. Барабан 1, жестко связанный с рычагом 3, насажен на подшипник и может поворачиваться относительно оси 2. Конец каната наматывается тремя витками на барабан и закрепляется на рычаге. Под действием веса инструмента канат натягивается, барабан поворачивается и рычаг давит на датчик 5, закрепленный на опоре 4.

Такая установка датчика по сравнению с монтажом непосредственно на канате более правильная, так как канат не деформируется, на показания датчика не влияет диаметр каната, уменьшается гистерезис и отсутствует погрешность, связанная с нелинейностью шкалы. Однако в данном случае необходимо учитывать трение

в подшипнике барабана, которое увеличивает порог чувствительности датчика к изменению натяжения каната.

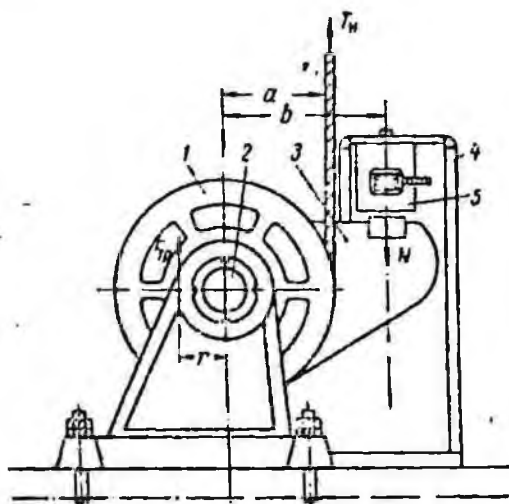


Рис. 2. Устройство для крепления неподвижного конца каната со встроеным датчиком.

Уравнение моментов сил, действующих на барабан, при увеличении нагрузки

$$T_n a - F_{тр} r - N b = 0, \quad (3)$$

где T_n — натяжение неподвижного конца каната; r , a — соответственно диаметры подшипника и барабана по линии касания его с канатом; N — усилие, передаваемое рычагом на датчик; b — расстояние между осью датчика и вертикальной осью барабана; $F_{тр}$ — сила трения в подшипнике барабана,

$$F_{тр} = Q_6 f_6,$$

здесь Q_6 — нагрузка подшипника барабана; f_6 — коэффициент трения покоя подшипника барабана.

Изменяя расстояние b , можно изменять усилие N , передаваемое на датчик, и следовательно, регулировать чувствительность измерителя.

Приведенная сила трения, определяющая порог чувствительности датчика к изменениям нагрузки на крюке,

$$F'_{тр} = f_6 \frac{r}{a} Q_6 n = f_6 \frac{r}{a} (T_n - N) n, \quad (4)$$

где n — число рабочих струн талевой системы.

Усилия, передаваемые рычагом, могут измеряться гидравлическими, электромеханическими и электрическими датчиками.

Для применяемых гидравлических и электромеханических датчиков предельная измеряемая нагрузка не превышает $5 T$ (49 кн), что значительно меньше предельных значений T_n , поэтому в формуле (4) значением N можно пренебречь.

Тогда

$$F'_{\text{тр}} \approx f_6 \frac{r}{a} T_n n = f_6 \frac{r}{a} Q_{\text{кр}}, \quad (5)$$

где $Q_{\text{кр}}$ — нагрузка на крюке.

Коэффициент трения покоя подшипника барабана равен примерно 0,01, отношение $\frac{r}{a}$ для применяемых конструкций барабана составляет $0,5 \div 0,75$. Подставляя эти значения в (5), получим, что уже при нагрузке на крюке, равной $100 T$ (980 кн), величина порога чувствительности составляет примерно $0,5 T$ ($4,9 \text{ кн}$).

Для уменьшения силы трения, а следовательно, и порога чувствительности при измерении усилий, передаваемых рычагом, целесообразно использовать электрические датчики (например, тензометрический или магнитоупругий), которые, имея меньшие габариты, позволяют измерять значительно большие усилия. Поэтому, уменьшив соотношение размеров $\frac{b}{a}$ в барабане, можно увеличить усилие N и, следовательно, согласно выражению (4), снизить влияние трения в подшипнике.

НЕДОСТАТКИ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ПО НАТЯЖЕНИЮ НЕПОДВИЖНОГО КОНЦА ТАЛЕВОГО КАНАТА

Недостатки отдельных способов измерения были описаны выше, теперь рассмотрим недостатки, присущие самому методу измерения.

1. Зона нечувствительности, обусловленная трением в подшипнике неподвижного шкива кронблока (рис. 3). Приведенная сила трения, определяющая порог чувст-

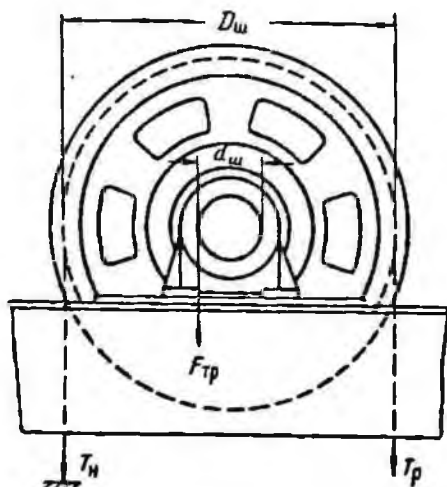


Рис. 3. Схема неподвижного шкива кронблока.

вместительности измерителя к изменению нагрузки на крюке, выражается как

$$F_{тр}^* = f_{ш} \frac{d_{ш}}{D_{ш}} Q_{ш} n, \quad (6)$$

где $f_{ш}$ — коэффициент трения покоя подшипника шкива; $d_{ш}$, $D_{ш}$ — диаметры соответственно внутреннего кольца подшипника шкива и шкива по линии касания его с канатом; $Q_{ш}$ — нагрузка на шкив,

$$Q_{ш} = T_H + T_p,$$

здесь T_p — усилие в рабочей струне каната, идущей от неподвижного шкива к талевому блоку.

Так как

$$Q_{ш} = \frac{2Q_{кр}}{n},$$

то

$$F_{тр}^* = 2f_{ш} \frac{d_{ш}}{D_{ш}} Q_{кр}. \quad (7)$$

Широко применяющиеся для бурения глубоких скважин кронблоки КБН6-200 и КБН7-300 имеют соответственно 6 и 7 идентичных шкивов, насаженных на роликоподшипники ГПЗ № 42240. У шкивов указанных кронблоков $d_{ш} = 250$ мм, $D_{ш} = 1000$ мм.

Измерения, проведенные на заводе «Бакинский рабочий» на тридцати трех шкивах, показали, что коэффициенты трения покоя имеют значительный разброс ($0,005 \div 0,01$), вызванный неточностями, допускаемыми при изготовлении валов и шкивов. Тогда при нагрузке на крюке, равной $140\ T$ ($1372\ кн$) (глубина скважины примерно $4000\ м$), для среднего значения $f_{ш} = 0,007$ получим из (7) $F_{тр}^* = 0,5T$ ($4,9\ кн$).

Необходимо также учитывать увеличение порога чувствительности вследствие жесткости талевого каната. В целом порог чувствительности на неподвижном конце каната может достигать $0,7-0,9\ T$ ($68,6-88\ кн$), что значительно превышает допустимое значение.

Следует отметить, что вибрация инструмента, имеющая место при роторном бурении, уменьшает трение и способствует снижению порога чувствительности.

2. Собственные колебания неподвижного конца талевого каната. При изменении нагрузки и вибрации инструмента возникают поперечные и продольные колебания неподвижного конца каната, частоты которых лежат в пределах $1,5 \div 10\ гц$. Эти колебания иллюстрируют осциллограммы (рис. 4, 5, 6), снятые на буровых № 75 и 82 НПУ «Азизбековнефть» и № 280 НПУ «Песчаный-нефть» во время исследований, проводимых институтами ВНИИКАНефтегаз, Гипронефтемаш и АзНИЭТИ. Осциллографирование производилось с помощью тензо-

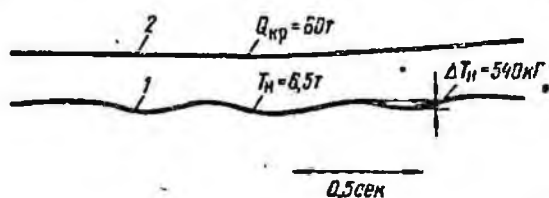


Рис. 4. Осциллограмма натяжения неподвижного конца талевого каната и нагрузки, передаваемой кронблоком на подкронблочные балки, при бурении ротором на буровой № 75 НПУ «Азизбековнефть» (диаметр каната $31\ мм$; оспастка 6×7 , длина неподвижного конца каната $53\ м$; глубина забоя $3500\ м$):

1 — датчик на неподвижном конце каната,
2 — датчики на кронблоке.

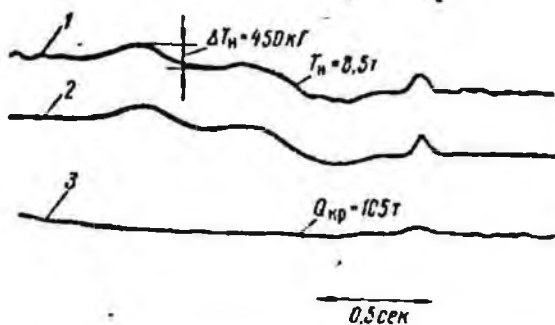


Рис. 5. Осциллограмма натяжения неподвижного конца талевого каната и нагрузки, передаваемой кронблоком на подкронблочные балки, при бурении турбобуром на буровой № 82 НПУ «Азизбековнефть» (диаметр каната 31 мм; оснастка 6×7; длина неподвижного конца каната 53 м; глубина забоя 4350 м):

1 — датчик на неподвижном конце каната; 2 — датчик в устройстве для крепления неподвижного конца каната; 3 — датчики на кронблоке.



Рис. 6. Осциллограмма натяжений неподвижного и ходового концов талевого каната и нагрузки на крюке при спуске 100 свечей на буровой № 280 НПУ «Песчаныйнефть», сопровождающийся прихватами инструмента (диаметр каната 28 мм; оснастка 5×6; длина неподвижного конца каната 41 м):

1 — датчик на крюке; 2 — датчик на неподвижном конце каната; 3 — датчик на ходовом конце каната.

метрических датчиков, разработанных Гипронефтемаш и АзНИЭТИ и установленных на неподвижном и ходовом концах, в устройстве для крепления неподвижного конца, на крюке, и датчиков на кронблоке, входящих в состав измерителя веса бурового инструмента ЭИВТ-1.

Как видно из осциллограмм, собственные колебания неподвижного конца имеют амплитуду до десятков тонн; поэтому осциллографирование динамических процессов на неподвижном конце, особенно во время спуско-подъемных операций, дает весьма искаженную картину и не может быть рекомендовано.

Интересно отметить, что собственные колебания неподвижного и ходового концов каната сдвинуты по фазе (см. рис. 6). Вследствие этого у датчиков, расположенных на кронблоке по одну сторону от оси его, переменные составляющие выходного напряжения, обусловленные собственными колебаниями каната, также сдвинуты по фазе (рис. 7) и частично взаимно компенсируются.

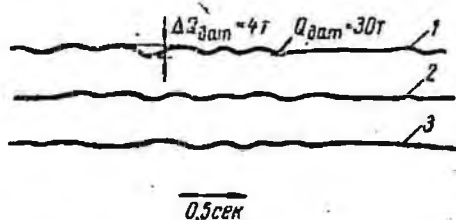


Рис. 7. Осциллограммы нагрузок датчиков на кронблоке при подъеме 120 свечей на буровой № 82 НПУ «Азизбековнефть» (оснастка 6×7): 1, 2 — датчики, установленные под двумя углами рамы кронблока у ходового конца каната; 3 — датчик, установленный под углом рамы кронблока у неподвижного конца каната.

На искажение картины динамических нагрузок на неподвижном конце каната и отсутствие значительных динамических перегрузок на крюке во время спуско-подъемных операций указывается также в [9].

На неподвижный конец каната натяжение может передаваться с запаздыванием на 0,1—0,2 сек относительно нагрузки на крюке и кронблоке.

3. Зависимость результатов измерений от направления движения бурового инструмента. Как известно, натяжение неподвижного конца талевого каната меняется при переходе от спуска к подъему из-за действия сил трения инструмента в скважине и потерь в талевой си-

стеме. Натяжение неподвижного конца при подъеме и спуске инструмента определяется как

$$T_{н. под} = Q_{кр} \frac{\beta - 1}{\beta(\beta^n - 1)} - F'_{ск};$$

$$T_{н. сп} = Q_{кр} \beta^n \frac{\beta - 1}{\beta^n - 1} - F'_{ск}, \quad (8)$$

где β — коэффициент, зависящий от жесткости каната и потерь на трение в шкивах кронблока (его обычно принимают равным 1,01—1,02); n — число рабочих струн талевой системы (при оснастке 6×7 $n=12$); $F'_{ск}$, $F_{ск}$ — силы трения буровой колонны о стенки скважины при движении инструмента соответственно вверх и вниз.

Если пренебречь влиянием сил трения в скважине, то при $\beta=1,02$ и $n=12$ получим $T_{н. под}=0,705Q_{кр}$, $T_{н. сп}=0,915Q_{кр}$.

В статическом состоянии, когда нагрузка равномерно распределяется между струнами, $T_{п}=0,8335Q_{кр}$.

Влияние потерь в талевой системе на погрешность измерения иллюстрируется осциллограммами (рис. 8, 9).

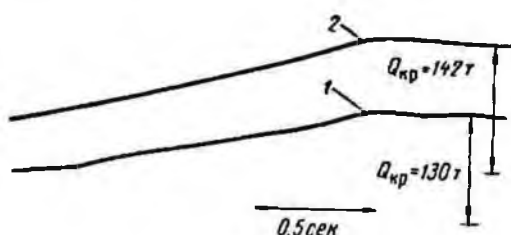


Рис. 8. Осциллограмма натяжения неподвижного конца талевого каната и нагрузки, передаваемой кронблоком на подкронблочные балки, при подъеме на первой скорости 140 съедов на буровой № 75 НПУ «Азизбековнефть» (диаметр каната 28 мм; оснастка 6×7, длина неподвижного конца каната 53 м):

1 — датчик на неподвижном конце каната;
2 — датчики на кронблоке.

Осциллографирование производилось тензометрическими датчиками, разработанными АзНИЭТИ и установ-

ленными на кронблоке и на неподвижном конце каната. Выходное напряжение датчиков записывалось непосредственно на осциллографе Н-102.

Как видно из осциллограмм, при переходе от спуска инструмента к подъему погрешность измерения на неподвижном конце каната составила 17 Т (167 кН) или 13% от веса инструмента. Для сравнения можно указать, что силы трения труб о стенки скважины на буровой № 75 НПУ «Азизбековнефть», имеющей отклонение от вертикали не более 3 град, при подъеме инструмента не превышали 5—8 Т (49—78,4 кН).

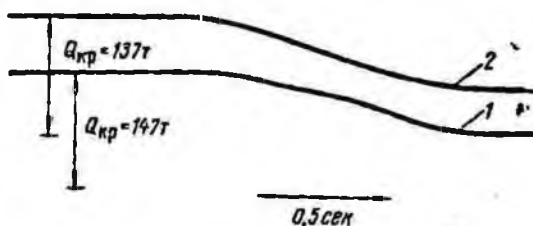


Рис. 9. Осциллограмма натяжения неподвижного конца талевого каната и нагрузки, передаваемой кронблоком на подкронблочные балки, при спуске 140 свечей на буровой № 75 НПУ «Азизбековнефть»:

1 — датчики на неподвижном конце каната;
2 — датчики на кронблоке

Потери в талевой системе значительно влияют на погрешность измерения в основном при бурении вертикальных скважин. В скважинах с большим наклоном значительную роль играет трение инструмента о стенки скважины. Так, например, на буровой № 280 НПУ «Песчаныйнефть», имеющей отклонение от вертикали до 30 град, сила трения инструмента в скважине при подъеме 80 свечей составила примерно 20% от веса инструмента.

Вышеперечисленные недостатки затрудняют поддержание определенной нагрузки на долото при бурении глубоких вертикальных скважин и искажают картину динамических процессов при спуско-подъемных операциях, вследствие чего метод контроля по натяжению неподвижного конца каната недостаточно эффективен при глубоком бурении.

НЕПОСРЕДСТВЕННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ВЕСА БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА НА БУРОВОМ КРЮКЕ ИЛИ ВЕРТЛЮГЕ

Данный метод является наиболее точным, поскольку полностью исключает влияние трения в талевой системе. Контроль можно осуществлять с помощью датчика, подвешенного между крюком и вертлюгом [55]. В этом случае конструкция датчика вместе с элементами крепления получается громоздкой, увеличивается длина наземного бурового оборудования, что может затруднить работу бурильщика.

Наиболее целесообразным решением является установка датчиков непосредственно на крюке или вертлюге. При этом обеспечивается лучшая защита датчиков от ударов, конструкция получается герметичной и компактной.

Размещение датчиков на вращающемся переводнике, связывающем вертлюг с квадратом [28], требует применения контактных токосъемов, что снижает надежность устройства.

Для того, чтобы избежать применения ненадежных токосъемных устройств, датчики должны быть связаны только с неподвижными деталями. Данному условию удовлетворяет размещение датчиков под нижней опорой подшипника [13, 14].

На рис. 10 показан разрез специального крюка КТ-130БРД с датчиком веса, разработанного АзНИЭТИ совместно с СКБ завода «Бакинский рабочий» и изготовленного на том же заводе. Ствол крюка длиннее обычного на 25 мм, а толщина наставки корпуса уменьшена на 5 мм. Благодаря этому между нижней обоймой подшипника 6 и наставкой корпуса 7 имеется зазор высотой 30 мм, где размещен датчик 1. Измеряемая нагрузка передается на датчик 1 через ствол 8, шпильку 2, шайбу 3, пружину 4, стакан 5 и подшипник 6.

Аналогичным образом можно осуществить установку датчика в вертлюге. Преимуществом такого измерения является надежная связь со вторичным прибором кабелем, размещенным на буровом шланге. Однако в этом случае исключается возможность контроля веса бурового инструмента при спуско-подъемных операциях.

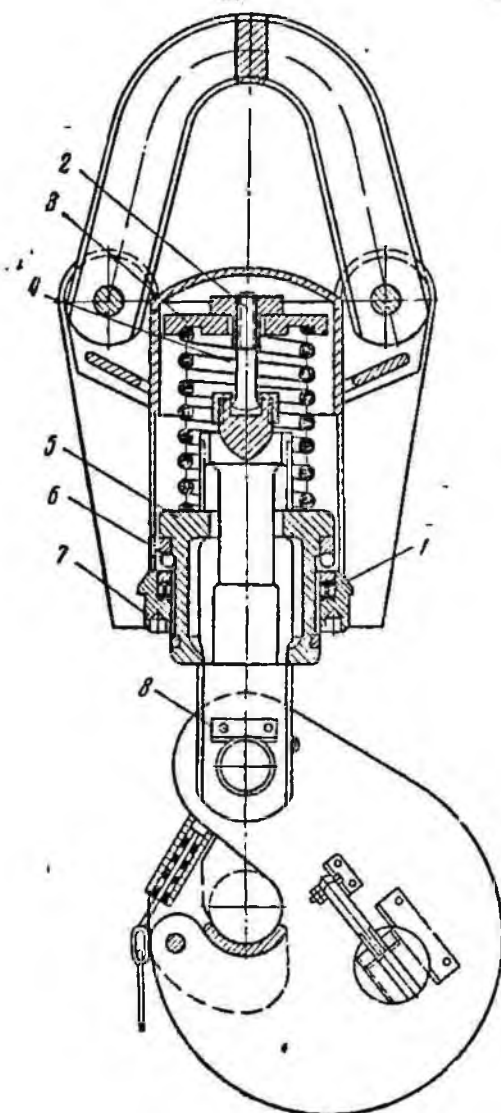
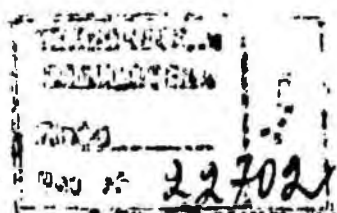


Рис. 10. Буровой крюк КТ-130БРД
с датчиком веса.



Измеритель в крюке более универсален, так как помимо процесса бурения позволяет контролировать спуско-подъемные операции и ловильные работы. К недостаткам измерителя в крюке по сравнению с измерителем в вертлюге можно отнести быстрое изнашивание кабеля, происходящее при высоких скоростях подъема, а также необходимость в специальном кабелеуборочном устройстве для постоянного натяжения кабеля.

Условия работы датчика, размещенного в крюке и вертлюге под нижней обоймой подшипника, характеризуются следующими особенностями:

размеры пространства, предназначенного для установки датчика, ограничивают его высоту;

в процессе эксплуатации ствол и связанная с ним верхняя обойма подшипника могут проворачиваться. При этом изменяется расположение шаров в подшипнике и распределение усилий, передаваемых шарами на датчик.

При неблагоприятном соотношении размеров — малой высоте и большой длине (например, диаметр кольцевого пространства в крюке КТ-130БРД равен 390 мм, а высота — всего 30 мм) выходное напряжение датчика должно быть линейным и не зависеть от расположения шаров в подшипнике.

При малой высоте датчика значительное влияние на стабильность работы и линейность характеристики оказывает трение между торцами датчика и опорными поверхностями. С изменением сил трения меняется деформация торцевых частей, что вызывает вариацию показаний чувствительных элементов датчика, расположенных вблизи торцевых частей.

Стабильность работы датчика и линейность характеристики обеспечивается при расположении чувствительных элементов на участках, достаточно удаленных от торцевых частей и испытывающих только линейную деформацию. У тензометрического датчика минимальная высота упругого элемента l_3 определяется из уравнения [23]

$$l_3 = 2l_{тр} + l_6 + 2 \text{ мм}, \quad (9)$$

где $l_{тр}$ — высота участка, испытывающего нелинейную деформацию; l_6 — база тензометра.

Размер $l_{тр}$ приближенно определяется как

$$l_{тр} = a_3 \sqrt{2}, \quad (10)$$

где a_3 — поперечный размер упругого элемента.

Для измерения в крюке целесообразно использовать тензометрические датчики кольцевого типа, поскольку их размеры удовлетворяют условию (9).

На рис. 11 показан тензометрический датчик для крюка КТ-130БРД. Датчик представляет собой кольцо

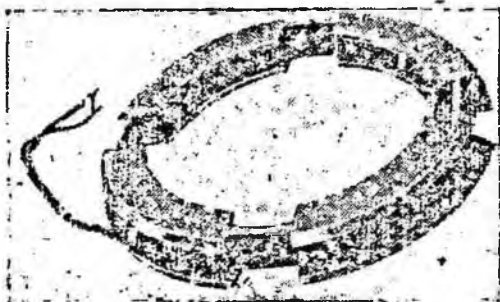


Рис. 11. Тензометрический датчик веса для крюка КТ-130БРД.

двутаверового сечения высотой 30 мм со средним диаметром 335 мм. Тензометры наклеены равномерно по окружности в средней части кольца. Усилия от шаров передаются на датчик через нижнюю обойму подшипника. Поскольку высота датчика и нижней обоймы подшипника значительно меньше длины датчика, то перераспределение усилий, вызванное изменением расположения шаров в подшипнике, вызывает значительное изменение напряжений в местах наклейки тензометров. В результате анализа распределения напряжений в датчике было установлено, что в зависимости от расположения шаров разброс величин напряжений, измеряемых тензометрами с базой 10 мм, может достигать 45%. Так как расположение шаров в подшипнике произвольно, то величина напряжения является случайной величиной X .

Для нахождения закона распределения X были произведены измерения напряжений на произвольном участке в средней части датчика тензометрическим мостом (2 активных и 2 компенсационных тензометра, наклеенных по обе стороны кольца). Усилия на кольцо передавались через подшипник крюка. Напряжение разбаланса тензометрического моста U_m , пропорциональное

напряжению на участке наклейки и являющееся случай-
ной величиной, определялось при усилии, равном 500 кН.
Перед каждым измерением кольцо разгружалось и
верхняя обойма подшипника вместе с шарами провора-
чивалась несколько раз.

Анализ результатов измерения показал, что стати-
стическое распределение U_m не противоречит нормаль-
ному закону. Гистограмма, построенная по данным ста-
тистического ряда значений U_m , полученных в результа-
те 150 измерений, и выравнивающая ее
кривая распределения по нормальному закону приведе-
ны на рис. 12.

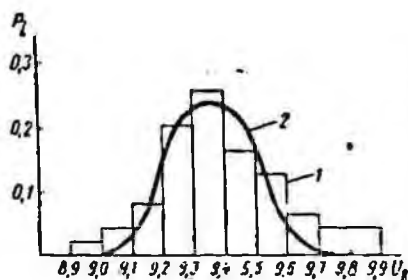


Рис. 12. Гистограмма статистичес-
кого ряда напряжений, измерен-
ных тензометрическим мостом на
произвольном участке в средней
части кольцевого датчика (1) и
выравнивающая гистограмму кривая
распределения по нормально-
му закону (2).

Датчик имеет n участков, на которых наклеены $4n$
тензометров, соединенных в мостовую схему. Выходной
сигнал датчика U_B пропорционален сумме механических
напряжений на отдельных участках и является также
случайной величиной.

Механические напряжения, возникающие на отдель-
ных участках кольца, являются зависимыми величина-
ми. Если на каком-либо участке увеличиваются напря-
жения вследствие увеличения концентрации шаров над
ним, то в других местах напряжения уменьшаются. По-
этому нормальный закон распределения имеет следую-
щие параметры [7]:

$$m_{U_B} = nm_{U_m}; \quad (11)$$

$$D_{U_B} = nD_{U_m} + 2\sum K_{ij}, \quad (12)$$

где m_{U_B} , m_{U_m} — математическое ожидание величин U_B и
 U_m ; D_{U_B} , D_{U_m} — среднее квадратичное отклонение или дис-

персия величин U_v и U_m ; K_{ij} — корреляционный момент величин напряжений U_{mj} и U_{mi} на участках i и j , причем суммирование распространяется на все возможные парные сочетания случайных величин $U_{m1}, U_{m2}, \dots, U_{mN}$.

Экспериментальные исследования степени зависимости изменения напряжений на разных участках кольца от перераспределения шаров показали, что между напряжениями на отдельных участках существует слабая отрицательная корреляция. Наибольший коэффициент корреляции $r_{ij} = \frac{K_{ij}}{D_{U_m}}$ не превышает 0,1.

Используя выражения (11) и (12) и экспериментально полученные значения m_{U_m} и D_{U_m} для разного числа участков наклейки тензометров, равномерно расположенных по окружности датчика, по таблицам функции Лапласа были определены вероятности попадания показаний датчика внутри интервала $m_{U_v} - \epsilon; m_{U_v} + \epsilon$, где ϵ — допустимая погрешность. Результаты расчета приведены в табл. 1.

Таблица 1

Количество участков наклейки	Математическое ожидание выходного напряжения датчика U_v , мВ	Дисперсия без учета корреляционной зависимости	Дисперсия с учетом корреляции	Вероятность ошибки не более $\pm 1\%$	Вероятность ошибки не более $\pm 1,5\%$
2	18,72	0,0634	0,0634	0,54	0,7308
4	37,44	0,1268	0,1094	0,754	0,7850
6	56,16	0,19	0,1482	0,856	0,972
8	74,88	0,254	0,193	0,91	0,989
10	93,6	0,317	0,245	0,94	0,996
12	112,32	0,38	0,29	0,958	0,998

Для того чтобы выбрать число участков наклейки, необходимо задаться допустимым значением погрешности и частотой ее появления. Например, можно задаться условием, чтобы приведенная погрешность измерения, превышающая 1%, могла возникать не чаще одного раза в сутки (время записи одной диаграммы). Максимальная проходка скважин на глубине 2500—3000 м

(наибольшая глубина, при которой применяется крюк КТ-130БРД) обычно не превышает 200 м в сутки. Ствол крюка во время бурения находится на защелке и может проворачиваться только при наращивании труб. Поэтому наибольшее число проворачиваний ствола крюка, во время которых меняется распределение шаров в подшипнике и может возникнуть ошибка измерения, не превышает $\frac{200}{h_{тр}}$, где $h_{тр}$ — средняя длина одной трубы, равная примерно 10 м. Следовательно, максимальное число проворачиваний в сутки равно 20 и вероятность того, что ошибка, превышающая 1%, появится не чаще 1 раза в сутки, должна быть не менее $\frac{19}{20} = 0,95$. В соответствии с этим по табл. 1 было выбрано двенадцать участков наклейки.

При разработке датчика для вертлюга необходимо учитывать непрерывное вращение ствола вертлюга во время роторного бурения и, вследствие этого, низкочастотную пульсацию выходного напряжения датчика, амплитуда которой определяется числом чувствительных элементов. В этом случае необходимо либо значительно увеличивать число чувствительных элементов по сравнению с датчиком на крюке, либо использовать датчик, нечувствительный к перераспределению шаров в подшипнике вертлюга. Таким устройством может быть, например, гидравлический датчик, установленный под нижней обоймой подшипника, с преобразователем гидравлического давления в электрический сигнал.

Недостатками, присущими измерительным устройствам на крюке и вертлюге, являются:

трудоемкость изготовления специальных датчиков больших размеров (например, диаметр кольцевого датчика для крюка КТ-300БР составляет 550 мм);

сложность замены датчика, связанная с разборкой крюка, которую затруднительно производить на буровой или в конторе бурения. Поэтому датчик должен безотказно работать в течение всего срока эксплуатации крюка (4—5 лет);

невозможность контроля веса при спуско-подъемных операциях в случае установки датчика в вертлюге;

недостаточно надежная связь датчика со вторичными приборами при установке датчика в крюке.

Указанные причины затрудняют использование измерителей в крюке и вертлюге. Эти измерители можно использовать для экспериментальных целей, а также при наличии на буровой запасного оборудования, со встроенными измерителями.

ИЗМЕРЕНИЕ ВЕСА БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА ПО УСИЛИЯМ, ПЕРЕДАВАЕМЫМ КРОНБЛОКОМ НА ПОДКРОНБЛОЧНЫЕ БАЛКИ

Общий вид кронблока показан на рис. 13. На ось кронблока действуют усилия в рабочих струнах талевой системы и натяжения неподвижного и ходового концов каната

$$Q_{\text{крон}} = T_{\text{н}} + T_{\text{х}} + nT_{\text{р}}, \quad (13)$$

где $Q_{\text{крон}}$ — суммарная нагрузка, действующая на ось кронблока; $T_{\text{х}}$ — натяжение ходового конца.

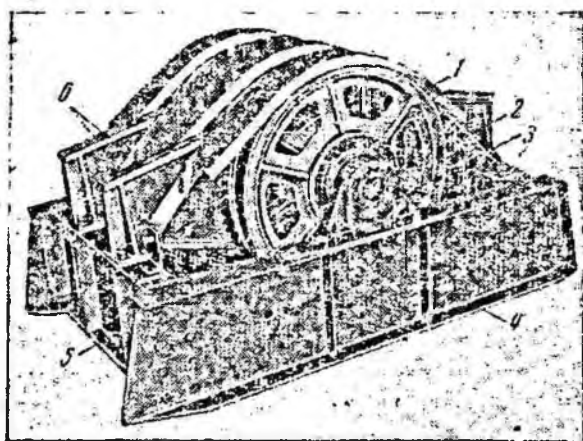


Рис. 13. Кронблок КБН7-300.

1 — шкив; 2 — ось; 3 — подшипник оси; 4 — продольная балка рамы; 5 — поперечная балка рамы; 6 — поперечные опоры оси.

Поскольку суммарное натяжение неподвижного и ходового концов каната составляет небольшую часть от всей нагрузки (16,7% для оснастки 5×6 и 14,3% для оснастки 6×7) и изменяется всего лишь на 0,5—0,7%

при изменении направления движения инструмента, то контроль веса бурового инструмента данным методом позволяет в значительной степени исключить погрешности, связанные с потерями в талевой системе.

Рассмотрим возможные места размещения датчиков для измерения усилий, передаваемых кронблоком на подкронблочные балки.

В зависимости от направления движения инструмента изменяются усилия в рабочих ветвях, на неподвижном и ходовом концах каната, и равнодействующая всех усилий перемещается вдоль оси кронблока. Силоизмерительные датчики должны быть расположены таким образом, чтобы перемещение точки приложения равнодействующей не сказывалось на результатах измерения.

Так как вся нагрузка от талевой системы передается на ось кронблока, принципиально возможно встроить силоизмерительные датчики между балками рамы кронблока и опорами оси для суммирования усилий в опорах. Однако такая схема установки датчиков имеет следующие недостатки:

ось кронблока КБН7-300 передает усилие на раму в шести точках, причем усилия в опорных точках отличаются друг от друга на 300%. Суммирование в этом случае должно осуществляться с помощью шести датчиков на различные предельные нагрузки, что уменьшает точность измерительного устройства и его надежность;

размещение датчиков под подшипниками и промежуточными опорами усложняет изготовление кронблоков, затрудняет монтаж и демонтаж датчиков на буровой.

В [54] предлагается контролировать вес бурового инструмента с помощью датчика, измеряющего прогиб продольной балки рамы кронблока. Такой способ контроля также имеет определенные недостатки:

результат измерения зависит от распределения усилий между опорами рамы;

упругим элементом датчика служит балка, изготавливаемая обычно из стали марки Ст. 10. Остаточная деформация балки вследствие недостаточно высоких упругих свойств стали марки Ст. 10 может явиться причиной погрешности измерения;

необходима индивидуальная тарировка измерительного устройства с кронблоком в условиях буровой.

Наиболее рациональным решением является размещение датчиков на подкронблочных балках под углами рамы кронблока [12].

Так как точка приложения равнодействующей всех сил, действующих на ось кронблока, перемещается вдоль оси, то для достижения независимости результатов измерения от направления движения инструмента необходимо и достаточно установить кронблок на два датчика, расположенных параллельно его оси, а две другие опоры сделать шарнирными. Однако из-за неточностей, допускаемых при изготовлении кронблока и его установке, нагрузка распределяется неравномерно между опорами, причем в процессе работы вследствие деформации рамы кронблока распределение нагрузки может измениться. Поэтому желательно устанавливать кронблок на четыре датчика, расположенных под углами рамы кронблока. В этом случае не требуется дополнительной тарировки измерительного устройства в условиях буровой.

Рассмотрим теперь погрешность, которая может возникнуть при креплении к подкронблочным балкам кронблока, установленного на силоизмерительные датчики.

Наилучшим решением с точки зрения уменьшения погрешности является такое крепление кронблока, при котором только ограничивается его перемещение и обеспечивается свободная посадка кронблока на датчики. Однако на практике крепление обычно производят согласно рис. 14, на котором показан один из четырех углов рамы кронблока.

Кронблок 1, установленный на датчики 2, крепится к подкронблочной балке 4 с помощью шпилек 3, накладок 5 и гаек 6.

Усилия, возникающие при затяжке гаек, вызывают предварительное сжатие датчиков. При нагружении

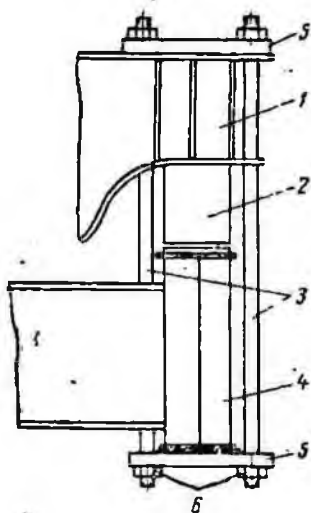


Рис. 14. Схема крепления кронблока КБНД7-300 к подкронблочной балке.

кронблока весом бурового инструмента датчики дополнительно деформируются, уменьшается сила, растягивающая детали крепления, а следовательно, и предварительное сжатие датчиков.

Результирующая нагрузка, действующая на датчик, выражается, как

$$P = Q_d + F_k - \Delta F_k, \quad (14)$$

где Q_d — измеряемое усилие; F_k — первоначальное сжимающее усилие, создаваемое затяжкой гаек крепления; ΔF_k — уменьшение растягивающих усилий в деталях крепления, вызванных предварительной затяжкой при нагружении датчика силой Q_d .

Под действием измеряемого усилия Q_d растягивающие усилия в деталях крепления уменьшаются на величину

$$\Delta F_k = C_2 \Delta l_Q = C_2 \frac{Q_d - \Delta F_k}{C_1} = \frac{\frac{C_2}{C_1} Q_d}{1 + \frac{C_2}{C_1}}, \quad (15)$$

где C_1 и C_2 — соответственно жесткость датчика и деталей крепления; Δl_Q — абсолютная деформация датчика и крепления, вызываемая нагрузкой Q_d .

Подставляя значение ΔF_k в (14), получим

$$P = Q_d + F_k - \frac{\frac{C_2}{C_1} Q_d}{1 + \frac{C_2}{C_1}}. \quad (16)$$

Как видим, характер зависимости $P=f(Q_d)$ определяется соотношением жесткости датчика и деталей крепления.

В случае неравенства температурных коэффициентов линейного расширения датчиков α_d и деталей крепления $\alpha_{кр}$ предварительная затяжка при креплении кронблока может вызвать температурную погрешность измерения. Если, например, $\alpha_d > \alpha_{кр}$, то с увеличением температуры на датчик действует дополнительная сжимающая сила F_t , а на детали крепления — растягивающая.

В том случае, когда жесткостью крепления можно пренебречь ($C_1 \gg C_2$), абсолютная температурная деформация датчика при изменении температуры на 1°C

будет определяться коэффициентом линейного расширения и высотой датчика l_d :

$$\Delta l_{dl} = \alpha_d l_d. \quad (17)$$

При этом температурные напряжения в датчике не возникнут.

Если C_1 и C_2 соизмеримы, то при изменении температуры на датчик и детали крепления будет действовать дополнительная сила F_t , вызывающая температурную погрешность. В результате этого температурные изменения длины датчика, определяемые (17), уменьшатся на величину $\frac{F_t}{C_1}$:

$$\Delta l_{dl\sigma} = \Delta l_{dl} - \frac{F_t}{C_1}. \quad (18)$$

Температурные удлинения деталей крепления увеличатся:

$$\Delta l_{кр\sigma} = \Delta l_{кр} + \frac{F_t}{C_2}. \quad (19)$$

Величина силы F_t будет постоянной при $Q_d \leq Q_{dl}$, где Q_{dl} — измеряемая нагрузка, при которой исчезает усилие, растягивающее детали крепления.

Величина Q_{dl} определяется из (15):

$$Q_{dl} = F_k \left(1 + \frac{C_1}{C_2} \right). \quad (20)$$

После того, как измеряемая нагрузка превысит величину Q_{dl} , температурная погрешность, вызванная влиянием предварительной затяжки, начнет уменьшаться и полностью исчезнет, когда

$$\frac{Q_d}{C_1} \geq \Delta l_{dl}. \quad (21)$$

Поскольку при нагрузках $Q_d \leq Q_{dl}$ температурные удлинения датчика и крепления одинаковы $\Delta l_{dl\sigma} = \Delta l_{кр\sigma}$, из (18) и (19) находим

$$F_t = \frac{\Delta l_{dl} - \Delta l_{кр}}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}}. \quad (22)$$

При проектировании силоизмерительного устройства, в котором крепление датчиков может вызвать их де-

формацию, необходимо стремиться к тому, чтобы изменение тарировки датчиков, вызванное влиянием крепления, не превышало допустимых пределов. Рассмотрим влияние крепления на тарировочную характеристику датчика при различных соотношениях жесткости датчика и деталей крепления.

1. Жесткость применяемого крепления значительно меньше жесткости датчика $C_2 \ll C_1$. Тогда из выражения (16) получим

$$P = Q_d + F_k - \frac{C_2}{C_1} Q_d = F_k + Q_d \left(1 - \frac{C_2}{C_1}\right). \quad (23)$$

Зависимость выходного напряжения датчика от измеряемого усилия для этого случая представлена на рис. 15 (прямая 2). Уменьшение наклона характери-

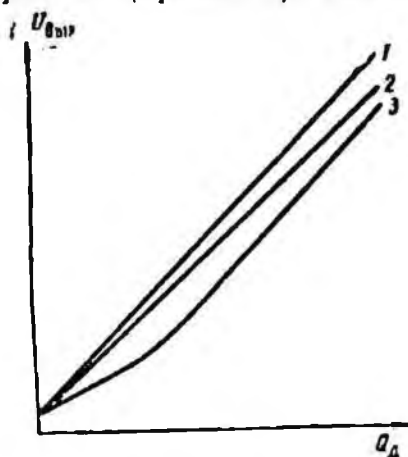


Рис. 15. Зависимость выходного напряжения датчика от измеряемого усилия $U_{\text{вых}} = f(Q_d)$:

1 — тарировочная характеристика датчика; 2 — зависимость $U_{\text{вых}} = f(Q_d)$ с учетом влияния крепления при $C_2 < C_1$; 3 — то же при C_2 , соизмеримом с C_1 .

ки силовизмерительного устройства по сравнению с тарировочной характеристикой датчика, т. е. уменьшение чувствительности датчика, вызываемое креплением, пропорционально $\frac{C_2}{C_1} Q_d$, поэтому для сохранения тари-

ровки надо стремиться к уменьшению отношения $\frac{C_2}{C_1}$.

Для этого желательно использовать при измерении усилий, передаваемых кронблоком на подкронблочные балки, магнитоупругие и тензометрические датчики, работающие на сжатие, как имеющие наибольшую жесткость.

2. Жесткость крепления соизмерима с жесткостью датчика, и совпадение выходной характеристики силовиз-

мерительного устройства с тарифовочной характеристикой датчика обеспечить невозможно. Такой случай может иметь место, например, при использовании силоизмерительных датчиков индуктивного типа.

Усилие затяжки обычно не превышает 5—10% от предельной величины веса бурового инструмента, поэтому необходимо стремиться к увеличению соотношения $\frac{C_2}{C_1}$. Это дает возможность ограничить нелиней-

ность выходной характеристики силоизмерительного устройства начальной частью шкалы и сохранить тарифовочную характеристику датчика для большей части измеряемых усилий.

Выходная характеристика силоизмерительного устройства для данного случая показана на рис. 15 (прямая 3). Начальное выходное напряжение датчика, вызванное предварительной затяжкой, скомпенсировать нельзя и рабочая часть шкалы уменьшается.

Преимуществами контроля веса бурового инструмента на кронблоке по сравнению с другими методами контроля являются:

- более высокая точность измерения по сравнению с контролем на неподвижном конце каната;

- надежная связь датчиков со вторичными приборами, поскольку не требуется гибкая связь, что необходимо при установке датчика на крюке;

- возможность использования силоизмерительных датчиков, серийно выпускаемых промышленностью;

- относительная простота смены датчиков, которую можно производить непосредственно на буровой.

Некоторым недостатком измерителя веса на кронблоке является то, что натяжения неподвижного и ходового концов каната включаются в общую нагрузку, действующую на датчики. При переоснастке талевой системы натяжения изменяются, изменяется и чувствительность измерителя. Так, для кронблока КБНД7-300 с изменением оснастки талевой системы с 5×6 на 6×7 суммарное натяжение неподвижного и ходового концов при том же весе инструмента уменьшается на 16,7%, а общая нагрузка на датчика на 2,8%.

Для того чтобы избежать погрешности, необходимо предусмотреть фиксированное изменение чувствительности вторичного прибора при переоснастке системы.

Кроме того, к недостаткам измерителя на кронблоке можно отнести необходимость в дополнительном монтаже датчиков при установке кронблока, а также возможную погрешность при неточной установке датчиков.

Указанные недостатки не являются существенными и не препятствуют использованию измерителя на кронблоке для контроля веса бурового инструмента.

ДАТЧИКИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВЕСА БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА

В электрических измерителях веса бурового инструмента используются в основном следующие типы преобразователей-датчиков, преобразующих измеряемые усилия в пропорциональный электрический сигнал:

тензометрические;

индуктивные и трансформаторные;

магнитоупругие.

ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ

Тензометрические силовизмерительные датчики представляют собой упругий элемент различной конфигурации (в виде столбика, пластины, кольца, цилиндра), обычно выполняемый из стали, с прикрепленными к нему проволочными или фольговыми тензомерами сопротивления.

Тензомеры представляют собой тензочувствительную решетку обычно из константановой проволоки или фольги. После включения в измерительную цепь тензомеры преобразуют деформацию поверхности упругого элемента, вызванную измеряемым усилием, в изменение электрического сопротивления, которое измеряется соответствующими приборами.

Чувствительность проводника к деформации характеризуется коэффициентом тензочувствительности K_T , который определяется как

$$K_T = 1 + 2\mu + \frac{\Delta\rho}{\frac{\rho}{\Delta l}}, \quad (24)$$

где ρ — удельное электрическое сопротивление материала проводника; μ — коэффициент Пуассона

$$\mu = \frac{\frac{\Delta b}{b}}{\frac{\Delta l}{l}},$$

здесь $\frac{\Delta b}{b}$ — относительная величина поперечной деформации; $\frac{\Delta l}{l}$ — относительное изменение длины проводника.

В настоящее время широко применяются следующие типы тензометров: проволочные и фольговые на бумажной или пленочной основе и тензометры без основы, у которых проволока свободна по всей длине, а концы ее укреплены на опорах.

Технические характеристики некоторых тензометров, выпускаемых отечественной промышленностью, приведены в табл. 2.

Тензометрические силоизмерительные датчики выпускаются серийно рядом предприятий. В частности, Томским заводом математических машин выпускаются силоизмерительные датчики типа С с проволочными пленочными тензометрами, предназначенные для измерения сжимающих усилий (табл. 3).

Отечественной промышленностью выпускаются тензометрические силоизмерительные датчики типа ПТВ9, ПТВ9А, ДСТБ С-0,16, ДСТБ С-0,28 на номинальные усилия от 1 до 250 Т. В этих датчиках применяются наклеенные тензометры из константановой проволоки диаметром 7 мк. Напряжение питания датчиков равно 20 в, выходное напряжение при номинальном усилии — 20 мв.

В последние годы начинают применяться полупроводниковые тензометры, коэффициент тензочувствительности которых в десятки раз превышает коэффициент тензочувствительности константановых проволочных и фольговых тензометров.

Английской фирмой «Coutant Electronics» выпускаются силоизмерительные датчики с полупроводниковыми тензометрами, предназначенные для работы при температуре от -20 до $+60^\circ\text{C}$ и обеспечивающие точность

Таблица 2

Основные показатели	Тип тензометра		
	ЛКБ	ЛКП	ФК
Конструктивное исполнение	А — с бумажным покрытием; Б — без бумажного покрытия	—	ФКП — прямоугольные, ФКМ — мембранные; ФКР — розеточные
Материал решетки	Константановая проволока диаметром 20, 25 и 30 мк	—	Константановая фольга толщиной 5, 7 и 10 мк
Материал основы	Бумага	Пленка клея БФ-2	Пленка лака ВЛ-7
База, мм	5, 10, 20, 30	5, 10, 15, 20, 30	5, 10, 20
Сопротивление для баз, ом:			
5	50, 100	50, 100	30, 50
10	100, 200	50, 100, 200	50, 70, 100
15	—	100, 200	—
20	100, 200	100, 200	100, 150, 200
30	200, 300	200, 300	—
Предел измеряемых деформаций, %	0,3	0,3	0,3
Рабочая температура, °С	От -40 до +40	От -40 до +70	От -40 до +70
Коэффициент тензочувствительности	1,8—2,1	1,9—2,1	1,85—2,35
Часовая ползучесть (при температуре $20 \pm 5^\circ\text{C}$), %	1,5	0,3	0,3
Длительно допустимый рабочий ток, мА	15—30	15—30	100—300
Клей (лак), рекомендуемый для наклейки тензометров	Клей ацетоноцеллулоидный, 192Т, БФ-2, ВС-10Т	БФ-2	Лак ВЛ-7

измерения $\pm 1\%$. Выходное напряжение датчиков при номинальном усилии равно 200 мВ.

Проволочные и фольговые тензометры широко применяются также при измерении и регистрации деформаций в деталях различных конструкций и машин.

Таблица 3

Модификация	Предельная нагрузка, Т	Диаметр, мм	Высота, мм	Вес, кг
С-2	2	115	127	6,65
С-5	5	128	156	9,5
С-10	10	145	190	14,5
С-20	20	140	198	16
С-50	50	135	183	14,5

Основные технические данные датчиков типа С

Номинальное значение чувствительности, выраженное отношением выходного напряжения при предельной нагрузке к питающему напряжению, мв/в . . .	2
Класс точности	0,5
Рабочий диапазон температур, °С . . .	От +50 до -40
Напряжение питания, в	12
Входное сопротивление, ом	360±2
Выходное сопротивление, ом	400±4

В тензометрических силонизмерительных датчиках тензометры обычно включаются в мостовые схемы. При измерении статических или медленно изменяющихся усилий в качестве вторичных приборов для измерения выходного напряжения датчиков используются автоматические потенциометры. При измерении и регистрации динамических деформаций применяются либо осциллографы с рамочными вибраторами (при регистрации сравнительно медленно изменяющихся процессов), либо тензометрические установки с питанием тензометрических датчиков переменным напряжением частотой 5—30 кГц с усилительными и выпрямительными блоками.

Подробные сведения о тензометрах и схемах их включения приведены в [45, 47].

ИНДУКТИВНЫЕ И ТРАНСФОРМАТОРНЫЕ ДАТЧИКИ

Работа индуктивных датчиков основана на изменении индуктивности обмотки датчика при перемещении сердечника под действием измеряемой входной величины. Основными преимуществами индуктивных датчиков

являются большая выходная мощность и простота конструкции.

Индуктивные датчики могут применяться для измерения усилий, при этом измеряемая величина преобразуется в перемещение подвижного сердечника.

Для измерения перемещений и усилий помимо индуктивных датчиков используются также трансформаторные датчики, которые имеют обмотки возбуждения, питаемые от сети переменного тока, и измерительные обмотки. При перемещении сердечника изменяется

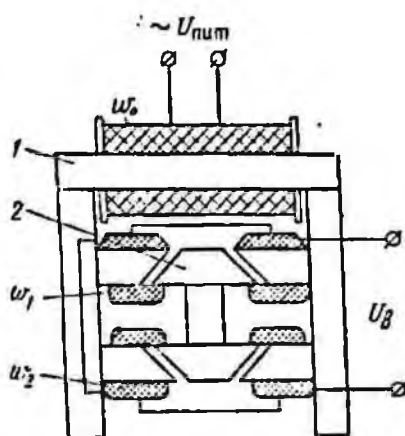


Рис. 16. Схема трансформаторного датчика малых линейных перемещений.

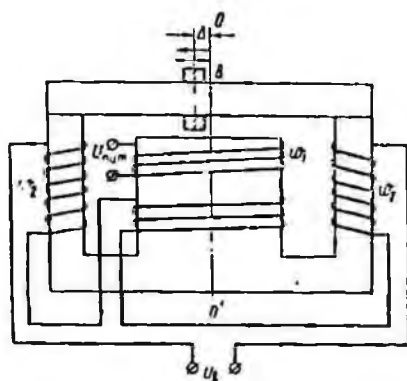


Рис. 17. Схема трансформаторного датчика с короткозамкнутым витком.

взаиминдуктивная связь между обмотками, а следовательно, и величина э. д. с., индуцированная в измерительной обмотке.

Рассмотрим конструкции трансформаторных датчиков, применяемых в измерителях веса бурового инструмента.

Трансформаторный датчик малых линейных перемещений, использованный в измерителе веса на неподвижном конце каната конструкции АЗИНЕФТЕХИМ [29, 30], показан на рис. 16.

Датчик состоит из магнитопровода 1, на котором расположены обмотка возбуждения w_0 и измерительные обмотки w_1 и w_2 , и подвижного сердечника 2.

Магнитные потоки Φ_1 и Φ_2 , создаваемые обмоткой возбуждения, индуктируют э. д. с. E_1 и E_2 в соответствующих измерительных обмотках, размещенных на верхней и нижней ветвях магнитопровода датчика.

В среднем положении сердечника $E_1 = E_2$ и напряжение на выходе встречно включенных измерительных обмоток равно нулю. Перемещение сердечника приводит к изменению взаимоиндуктивной связи между обмоткой возбуждения и измерительными обмотками, вследствие чего на выходе измерительных обмоток возникает напряжение U_v , пропорциональное перемещению сердечника.

Если пренебречь магнитным сопротивлением магнитопровода по сравнению с магнитным сопротивлением для потоков рассеяния, то

$$U_v = U_{пит} \frac{\omega_0 (h_0 - 2h_1)}{\omega_1 h_0}, \quad (25)$$

где $U_{пит}$ — напряжение питания обмотки возбуждения; ω_0 , ω_1 — соответственно число витков обмотки возбуждения и измерительной обмотки; h_0 — максимально возможное перемещение подвижного сердечника; h_1 — перемещение подвижного сердечника от нижней грани магнитопровода.

На рис. 17 показана принципиальная схема трансформаторного датчика с короткозамкнутым витком, использованного в измерителе, разработанном в Куйбышевском НИИНП.

Ш-образный шихтованный магнитопровод имеет расширенный средний сердечник, на котором расположена первичная обмотка ω_1 . Вторичные обмотки ω_2 , включенные встречно, расположены на крайних сердечниках. В воздушном зазоре между средним сердечником и ярмом расположен короткозамкнутый виток B из меди, охватывающий ярмо и оказывающий определенное сопротивление прохождению магнитного потока вследствие протекания в витке токов под действием индуктированной в нем э. д. с.

При среднем положении короткозамкнутого витка, совпадающем с геометрической осью среднего сердечника, потоки в крайних стержнях равны между собой, следовательно, будут равны э. д. с., наводимые во вторичных обмотках, и выходное напряжение датчика будет

равняться нулю. При перемещении витка происходит перераспределение магнитного потока между крайними сердечниками и на выходе появляется разностная э. д. с., величина которой пропорциональна смещению Δ витка относительно оси 0—0'. При переходе витка через эту ось фаза выходной э. д. с. изменяется на 180°.

Подробные сведения об индуктивных и трансформаторных датчиках приведены в [34, 39, 48].

МАГНИТОУПРУГИЕ ДАТЧИКИ

Принцип действия магнитоупругого датчика основан на изменении магнитной проницаемости ферромагнитного тела под действием приложенной нагрузки.

Магнитоупругие свойства ферромагнитного материала характеризуются относительной чувствительностью

$$S_{\sigma} = \frac{\frac{\Delta \mu_1}{\mu_1}}{\sigma}, \quad (26)$$

где μ_1 — магнитная проницаемость; σ — механическое напряжение в материале.

Наибольшей относительной чувствительностью обладают железоникелевые сплавы с содержанием 65% никеля [38]. Однако датчики из пермаллоя на большие усилия получаются громоздкими, стоимость их высока.

В работе [20] показана целесообразность изготовления магнитоупругих датчиков из кремнистой стали, к достоинствам которой можно отнести высокую магнитоупругую чувствительность, хорошую линейность характеристик при механическом напряжении до 200 н/мм², малые потери на перемагничивание и вихревые токи, сравнительно низкую стоимость. Все это обусловило широкое применение ее в датчиках для измерения больших нагрузок.

Существующие конструкции магнитоупругих датчиков можно разделить на две группы:

датчики дроссельного типа, представляющие собой переменное магнитное сопротивление, величина которого меняется под действием измеряемой нагрузки;

датчики трансформаторного типа, в которых под действием нагрузки изменяется коэффициент трансформации.

На рис. 18 показана принципиальная схема магнитоупругого датчика дифференциально-трансформаторного типа [37].

Датчик состоит из двух идентичных преобразователей: активного 1, воспринимающего измеряемое усилие,

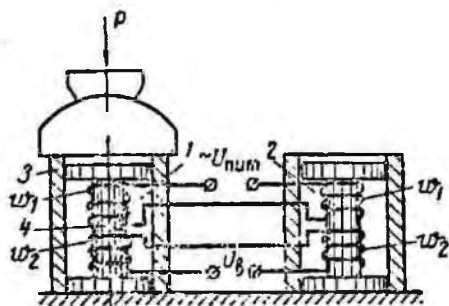


Рис. 18. Принципиальная схема магнитоупругого датчика дифференциально-трансформаторного типа.

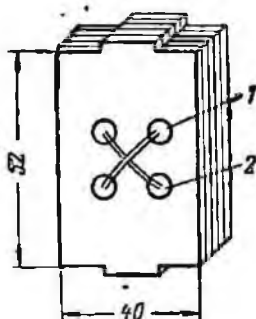


Рис. 19. Магнитоупругий датчик со скрещенными обмотками.

и компенсационного 2. Каждый преобразователь состоит из магнитопровода 3 и сердечника 4 с возбуждающей и измерительной обмотками.

Возбуждающие обмотки ω_1 соединены последовательно и питаются переменным током, измерительные ω_2 — последовательно и встречно.

При отсутствии усилия P индуктивные сопротивления и напряжения возбуждения преобразователей одинаковы. Под действием измеряемой нагрузки изменяется магнитная проницаемость магнитопровода 3, являющегося чувствительным элементом. При этом напряжение возбуждения перераспределяется между обмотками преобразователей; напряжения, наводимые в измерительных обмотках, становятся неравными между собой и на выходе датчика появляется электрический сигнал.

Магнитоупругие датчики дифференциально-трансформаторного типа используются в разработанных в СКБ Министерства геологии СССР измерителях веса бурового инструмента на неподвижном конце каната и кронблоке.

На рис. 19 представлена конструкция магнитоупругого датчика трансформаторного типа со скрещенными

обмотками [51, 52]. Датчик собран из листов трансформаторной стали и имеет четыре симметричных отверстия, в которых размещены возбуждающая 1 и измерительная 2 обмотки, расположенные под прямым углом друг к другу. Обмотка возбуждения питается от источника переменного тока частотой 50 гц.

Если пластины датчика магнитно изотропны, то при отсутствии измеряемого усилия силовые линии обмоток возбуждения располагаются симметрично, не сцепляются с измерительной обмоткой и на выходе этой обмотки э. д. с. равна нулю.

Под действием измеряемого усилия магнитная проницаемость на отдельных участках пластины изменяется, часть магнитных силовых линий обмотки возбуждения, сцепляясь с измерительной обмоткой, индуцирует в ней э. д. с., пропорциональную приложенному усилию.

В датчике, набранном из пластин, по сравнению с датчиком из сплошного металла магнитный поток распределен равномерно по сечению, поэтому такой датчик имеет большую выходную мощность и менее чувствителен к распределению усилий по опорной поверхности.

Для уменьшения начальной э. д. с., вызванной анизотропностью пластин, необходимо набирать датчик из пластин двух видов: с направлением прокатки, совпадающим с направлением приложенной силы, и под прямым углом к ней, причем пластины при сборке чередуются.

Исследования магнитоупругого датчика трансформаторного типа со скрещенными обмотками [16] показали, что лучшая линейность преобразования обеспечивается при измерении только первой гармоники выходного напряжения и ампер-витках обмотки возбуждения $I_1 \omega_1 = 20$, соответствующих насыщению.

Пренебрегая нелинейностью характеристик, выходное напряжение датчика можно представить как

$$U_B = K_M n \omega_2 \sigma, \quad (27)$$

где K_M — коэффициент тензочувствительности, зависящий от размеров датчика, ампер-витков обмотки возбуждения и сопротивления нагрузки; n — число пластин датчика; ω_2 — число витков вторичной обмотки.

При сопротивлении нагрузки значительно большем сопротивления вторичной обмотки, что обеспечивается

при использовании в качестве вторичного прибора автоматического компенсатора, и $I_1\omega_1=20$ коэффициент тензочувствительности датчика с размерами, показанными на рис. 19, при измерении первой гармоники выходного напряжения составляет около $0,002 \text{ мВ} \cdot \text{мм}^2/\text{н}$.

Недостатком магнитоупругих датчиков является магнитоупругий гистерезис, величина которого снижается при ампер-витках обмотки возбуждения, близких к насыщению. При $I_1\omega_1=20$ и наибольшем механическом напряжении в пластинах, равном 100 н/мм^2 , приведенная погрешность от магнитоупорного гистерезиса для датчика со скрещенными обмотками составляет 2%. Однако при использовании датчика для измерения веса бурового инструмента наибольшая возможная погрешность от гистерезиса составляет менее 0,5%, поскольку максимальная разгрузка датчика во время бурения не превышает 10—20% от веса бурового инструмента.

Схема включения магнитоупругого датчика Д со скрещенными обмотками при измерении первой гармоники выходного напряжения показана на рис. 20. Фазо-

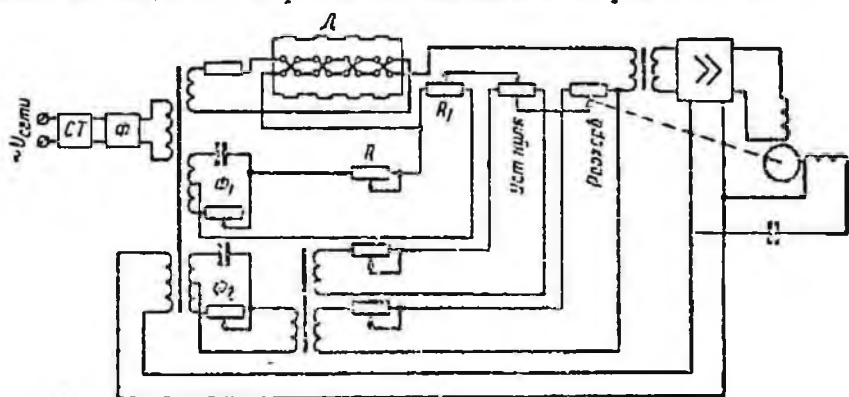


Рис. 20. Схема включения магнитоупругого датчика со скрещенными обмотками.

вращатель Φ_1 , резистор R и потенциометр R_1 компенсируют начальное напряжение датчика, вызванное анизотропностью пластин, по фазе и амплитуде. Выходное напряжение датчика измеряется автоматическим однокоординатным компенсатором переменного тока. Поскольку выходное напряжение датчика сдвинуто по фазе относительно питающего напряжения, то для согласо-

ния фаз выходного напряжения и напряжения компенсации используется фазовращатель Φ_2 . Согласование фазы напряжения разбаланса и напряжения на анодах лампы фазочувствительного усилителя производится в усилителе напряжения компенсатора. Питание датчика и вторичного прибора осуществляется через стабилизатор напряжения СТ и фильтр Φ .

Магнитоупругие датчики трансформаторного типа со скрещенными обмотками используются в измерителе веса бурового инструмента на кронблоке ЭИВМ, разработанном в АзНИЭТИ.

Подробные сведения о магнитоупругих датчиках различных типов и схемах их включения приведены в [1, 18, 48].

ВТОРИЧНЫЕ ПРИБОРЫ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ВЕСА БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА

Вторичные приборы осуществляют индикацию и регистрацию усилий, измеряемых датчиками веса бурового инструмента. Учитывая специфические условия контроля веса бурового инструмента во время бурения и спуско-подъемных операций, основные требования, предъявляемые ко вторичным приборам, можно сформулировать следующим образом:

1. Разрешающая способность вторичных приборов должна быть достаточной для осуществления эффективного контроля за небольшими (порядка 0,1—0,2% от общего веса инструмента) изменениями нагрузки, что необходимо для поддержания определенного давления на долото во время бурения.

2. Шкала прибора должна быть по возможности линейной и удобной для чтения на расстоянии до 5—6 м.

3. Приборы должны обеспечивать контроль быстро изменяющихся нагрузок при спуско-подъемных операциях и в моменты прихвата инструмента.

4. Приборы должны быть вибро- и удароустойчивыми и надежно работать в условиях буровой.

В качестве вторичных приборов электрических измерителей веса бурового инструмента применяются электрические следящие системы двух типов:

синхронно-следящие с сельсинами;
автокомпенсационные.

СИНХРОННО-СЛЕДЯЩИЕ СИСТЕМЫ С СЕЛЬСИНАМИ

Синхронно-следящие системы с сельсинами предназначены для дистанционной передачи углов поворота и используются для контроля веса бурового инструмента в тех случаях, когда натяжение неподвижного конца талевого каната предварительно преобразуется в угол поворота. Указанная система содержит соединенные линией связи сельсин-датчик и один или несколько сельсинов-приемников.

Для передачи углов поворота используются различные типы сельсинов. Рассмотрим наиболее распространенную конструкцию сельсина с однолучевой роторной и трехлучевой статорной обмотками.

Однолучевая обмотка укладывается на роторе с явно выраженными полюсами, трехлучевая обмотка статора укладывается в пазы, число которых кратно трем. Для того чтобы магнитное поле в зазоре между ротором и статором изменялось плавно, пазы статора выполняются скошенными. На рис. 21 показан поперечный разрез сельсина, а на рис. 22 — принципиальная электрическая схема синхронно-следящей системы с одним сельсином-датчиком и одним сельсином-приемником.



Рис. 21. Устройство сельсина с однолучевой роторной и трехлучевой статорной обмотками.

Роторные обмотки сельсинов присоединяются к питающей сети переменного тока через щетки и контактные кольца. Статорные обмотки соединяются между собой посредством трехпроводной линии связи.

Поворот ротора сельсина-датчика на некоторый угол относительно ротора сельсина-приемника вызывает изменение э. д. с. в статорных обмотках первого сельсина, тогда как э. д. с., действующие в статорных обмотках второго сельсина, остаются неизменными. Разность э. д. с. вызывает в статорных обмотках уравнивающие токи, которые, взаимодействуя с пульсирующими пото-

ками, создаваемыми роторными обмотками, обуславливают возникновение синхронизирующих моментов, приложенных к каждому ротору. Под действием этого момента ротор сельсина-приемника поворачивается до положения, при котором угол рассогласования равен нулю.

Недостатком описанного сельсина является наличие токосъемного устройства, которое создает значительный момент трения и снижает надежность работы сельсина.

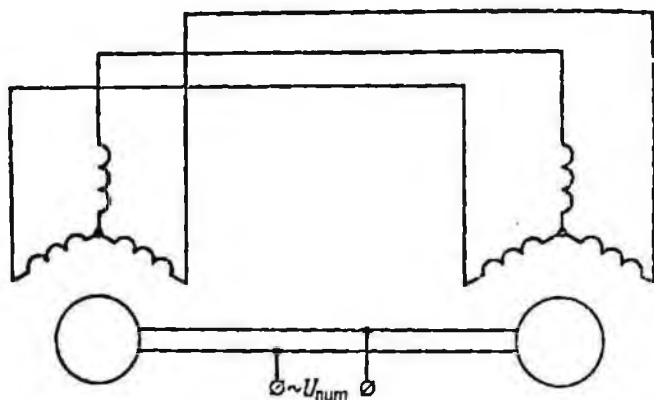


Рис. 22. Принципиальная электрическая схема сельсина передачи.

В следящих системах используются также бесконтактные сельсины без подвижной обмотки, благодаря чему отпадает необходимость в контактных устройствах. Вследствие уменьшения трения бесконтактные сельсины обеспечивают большую точность передачи угла поворота. Длительность работы бесконтактных сельсинов доходит до 3000 ч, в то время как у контактных сельсинов не превышает 1500 ч. Однако при заданных габаритах синхронизирующий момент у бесконтактных сельсинов меньше, чем у контактных.

Конструкция бесконтактного сельсина с Z-образным сердечником показана на рис. 23. Сельсин состоит из тороидального магнитопровода 1 с намотанной на нем обмоткой 2, Z-образного сердечника 3 и обмотки возбуждения 5, прикрепленной к тороиду кольцом 6.

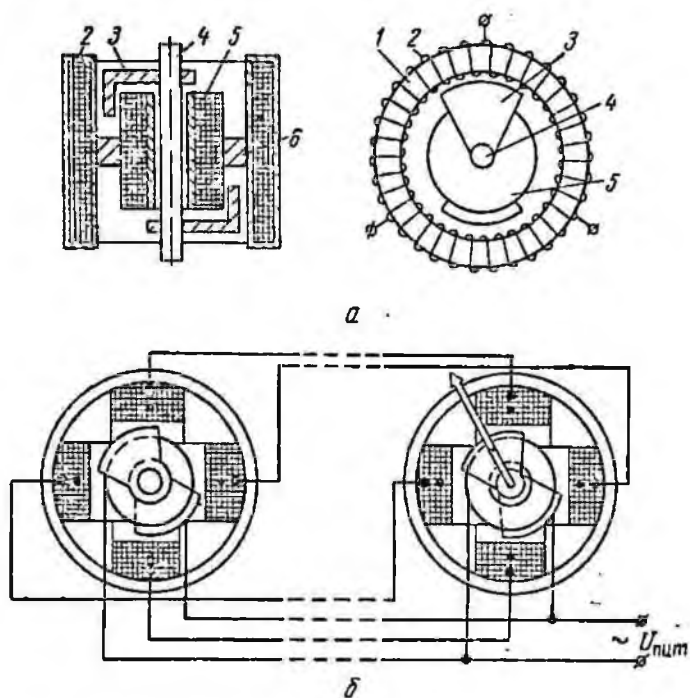


Рис. 23. Устройство бесконтактного сельсина с Z-образным сердечником (а) и схема дистанционной передачи на этих сельсинах (б).

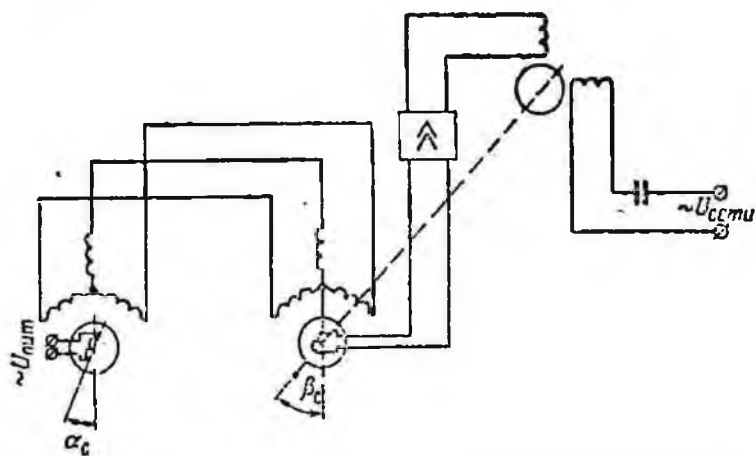


Рис. 24. Схема включения сельсинов с усилителем момента.

Z-образный сердечник состоит из двух секторов, выполненных из ферромагнитного материала и укрепленных на стальной оси 4.

Магнитный поток, создаваемый обмоткой возбуждения, замыкается через Z-образный сердечник и магнитопровод. При повороте оси с секторами, представляющими собой ротор, изменяется э. д. с., индуцированная в статорных обмотках. При несинхронном расположении роторов датчика и приемника возникающие уравнивающие токи обуславливают появление синхронизирующего момента.

Рассмотренные выше режимы работы сельсинов называются индикаторными. В тех случаях, когда на оси сельсина-приемника имеется большая нагрузка и мощность сельсиновой передачи недостаточна для синхронного поворота ротора приемника, применяется схема включения сельсинов, работающих в трансформаторном режиме с усилителем момента.

Схема включения сельсинов с усилителем момента показана на рис. 24. Однолучевая роторная обмотка сельсина-датчика подключается к сети переменного тока, при этом в статорных обмотках индуцируются э. д. с., эффективные значения которых определяются как

$$\left. \begin{aligned} E_1 &= E \cos \alpha_c; \\ E_2 &= E \cos (\alpha_c - 120^\circ); \\ E_3 &= E \cos (\alpha_c - 240^\circ), \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

где E — эффективное значение э. д. с., индуцированной в статорной обмотке, ось которой совпадает с осью роторной обмотки (за ось статорной обмотки условно принимается ось первой обмотки статора); α_c — угол поворота оси роторной обмотки относительно статорной.

Тогда токи, протекающие в статорных обмотках, выражаются как

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{E_1}{2z}; \\ I_2 &= \frac{E_2}{2z}; \\ I_3 &= \frac{E_3}{2z}, \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

где z — сопротивление лучевой обмотки статора.

Эти токи, протекая по обмоткам статора приемника, индуцируют в однолучевой роторной обмотке приемника э. д. с.

$$\left. \begin{aligned} E'_1 &= c_1 I_1 \omega_c \cos \beta_c; \\ E'_2 &= c_1 I_2 \omega_c \cos (\beta_c - 120^\circ); \\ E'_3 &= c_1 I_3 \omega_c \cos (\beta_c - 240^\circ), \end{aligned} \right\} \quad (30)$$

где c_1 — коэффициент пропорциональности; β_c — угол поворота оси роторной обмотки приемника относительно статорной.

Результирующая э. д. с. в роторной обмотке

$$E_{\text{рез}} = E'_1 + E'_2 + E'_3 = \frac{3}{4} c_1 \frac{E}{z} \cos (\alpha_c - \beta_c) \quad (31)$$

или

$$E_{\text{рез}} = E_{\text{рез max}} \cos \gamma_c. \quad (32)$$

Следовательно, напряжение в роторной обмотке сельсина-приемника зависит только от угла рассогласования между роторами.

Из выражения (32) следует, что при $\gamma_c = 90^\circ$ $E_{\text{рез}} = 0$. Поэтому в схеме включения сельсинов с усилителем момента за синхронное положение роторов сельсинов принимается такое положение, при котором оси их обмоток взаимно перпендикулярны. Когда ротор сельсина-датчика под действием первичного преобразователя отклоняется от синхронного положения $\gamma_c \neq 90^\circ$, в роторной обмотке сельсина-приемника возникает напряжение, которое усиливается и приводит во вращение реверсивный двигатель, поворачивающий ротор приемника до тех пор, пока тот не займет синхронного с сельсином-датчиком положения ($\gamma_c = 90^\circ$, $E_{\text{рез}} = 0$).

Синхронно-следящая система с сельсинами применяется в пульте ПКБ-2 для контроля основных параметров бурения, разработанном во ВНИИКАнефтегаз [25, 39].

АВТОКОМПЕНСАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Автокомпенсационные системы применяются для контроля веса бурового инструмента в тех случаях, ког-

Z-образный сердечник состоит из двух секторов, выполненных из ферромагнитного материала и укрепленных на стальной оси 4.

Магнитный поток, создаваемый обмоткой возбуждения, замыкается через Z-образный сердечник и магнитопровод. При повороте оси с секторами, представляющими собой ротор, изменяется э. д. с., индуктированная в статорных обмотках. При несинхронном расположении роторов датчика и приемника возникающие уравнительные токи обуславливают появление синхронизирующего момента.

Рассмотренные выше режимы работы сельсинов называются индикаторными. В тех случаях, когда на оси сельсина-приемника имеется большая нагрузка и мощность сельсинной передачи недостаточна для синхронного поворота ротора приемника, применяется схема включения сельсинов, работающих в трансформаторном режиме с усилителем момента.

Схема включения сельсинов с усилителем момента показана на рис. 24. Однолучевая роторная обмотка сельсина-датчика подключается к сети переменного тока, при этом в статорных обмотках индуктируются э. д. с., эффективные значения которых определяются как

$$\left. \begin{aligned} E_1 &= E \cos \alpha_c; \\ E_2 &= E \cos (\alpha_c - 120^\circ); \\ E_3 &= E \cos (\alpha_c - 240^\circ), \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

где E — эффективное значение э. д. с., индуктированной в статорной обмотке, ось которой совпадает с осью роторной обмотки (за ось статорной обмотки условно принимается ось первой обмотки статора); α_c — угол поворота оси роторной обмотки относительно статорной.

Тогда токи, протекающие в статорных обмотках, выражаются как

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{E_1}{2z}; \\ I_2 &= \frac{E_2}{2z}; \\ I_3 &= \frac{E_3}{2z}, \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

где z — сопротивление лучевой обмотки статора.

Эти токи, протекая по обмоткам статора приемника, индуктируют в однолучевой роторной обмотке приемника э. д. с.

$$\left. \begin{aligned} E'_1 &= c_1 I_1 \omega_c \cos \beta_c; \\ E'_2 &= c_1 I_2 \omega_c \cos (\beta_c - 120^\circ); \\ E'_3 &= c_1 I_3 \omega_c \cos (\beta_c - 240^\circ), \end{aligned} \right\} \quad (30)$$

где c_1 — коэффициент пропорциональности; β_c — угол поворота оси роторной обмотки приемника относительно статорной.

Результирующая э. д. с. в роторной обмотке

$$E_{\text{рез}} = E'_1 + E'_2 + E'_3 = \frac{3}{4} c_1 \frac{E}{z} \cos (\alpha_c - \beta_c) \quad (31)$$

или

$$E_{\text{рез}} = E_{\text{рез max}} \cos \gamma_c. \quad (32)$$

Следовательно, напряжение в роторной обмотке сельсина-приемника зависит только от угла рассогласования между роторами.

Из выражения (32) следует, что при $\gamma_c = 90^\circ$ $E_{\text{рез}} = 0$. Поэтому в схеме включения сельсинов с усилителем момента за синхронное положение роторов сельсинов принимается такое положение, при котором оси их обмоток взаимно перпендикулярны. Когда ротор сельсина-датчика под действием первичного преобразователя отклоняется от синхронного положения $\gamma_c \neq 90^\circ$, в роторной обмотке сельсина-приемника возникает напряжение, которое усиливается и приводит во вращение реверсивный двигатель, поворачивающий ротор приемника до тех пор, пока тот не займет синхронного с сельсином-датчиком положения ($\gamma_c = 90^\circ$, $E_{\text{рез}} = 0$).

Синхронно-следящая система с сельсилами применяется в пульте ПКБ-2 для контроля основных параметров бурения, разработанном во ВНИИКАнефтегаз [25, 39].

АВТОКОМПЕНСАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Автокомпенсационные системы применяются для контроля веса бурового инструмента в тех случаях, ког-

да измеряемое усилие преобразуется в электрическое напряжение. Достоинства вторичных автокомпенсационных приборов:

отсутствие влияния изменения сопротивления линии связи на результат измерения;

отсутствие потребления энергии от датчика в момент достижения равновесия;

отсутствие влияния температуры окружающей среды и изменения напряжения сети на результат измерения при идентичных датчике и компенсационном элементе вторичного прибора и питании их от общего источника.

Во вторичных приборах для контроля веса бурового инструмента в основном используются два типа автокомпенсационных схем:

автокомпенсационная схема непосредственного уравнивания с ферродинамическим преобразователем;

автоматические однокоординатные компенсаторы переменного тока.

Автокомпенсационная схема с ферродинамическим преобразователем

Данная схема, работающая по принципу непосредственного уравнивания, приведена на рис. 25. Преобразователь состоит из магнитопровода с обмоткой возбуждения и рамки, расположенной в воздушном за-

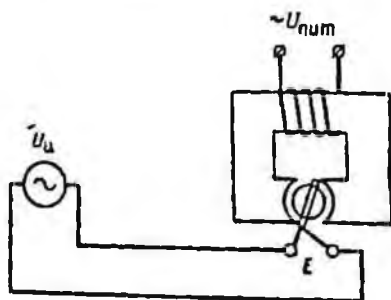


Рис. 25. Схема включения ферродинамического преобразователя, работающего по принципу непосредственного уравнивания.

зоре. Рамка не имеет противодействующих пружин, и ток к ней подводится безмоментными проводами. Обмотка возбуждения преобразователя подключается к сети переменного тока.

Ферродинамический преобразователь, работающий по принципу непосредственного уравнивания, ис-

пользуется обычно в схемах с индуктивными датчиками. В этих схемах с помощью фазочувствительных устройств или при использовании магнитопроводов и обмоток возбуждения с одинаковыми параметрами у датчика и преобразователя достигается совпадение фаз измеряемого напряжения U_n с выхода датчика и напряжения, индуцированного в рамке потоком возбуждения ψ_p . В этом случае угол отклонения рамки от положения равновесия

$$\alpha_p = \frac{U_n}{\omega \psi_p \psi_p}, \quad (33)$$

где ω — угловая частота; ψ_p — число витков рамки.

Автокомпенсационная схема непосредственного уравновешивания с ферродинамическим преобразователем была использована в электрическом индикаторе веса бурового инструмента на неподвижном конце каната конструкции АЗИНЕФТЕХИМ [29, 30].

Автоматические однокоординатные компенсаторы (потенциометры) переменного тока

Принцип действия подобных компенсаторов основан на автоматическом уравновешивании измеряемого переменного напряжения U_n , совпадающим с ним по фазе переменным напряжением U_k , вводимым в измерительную цепь с компенсирующего устройства. Исполнительный реверсивный двигатель, механически связанный с компенсирующим устройством, перемещается от воздействия усиленного сигнала разбаланса $U_n - U_k$ изменяет U_k и приводит схему в равновесное состояние.

В случае несовпадения фазы измеряемого и компенсирующего напряжений, некомпенсированное напряжение разбаланса U_{kb} , называемое квадратурной помехой, сдвинутое на 90° относительно компенсирующего напряжения, насыщает усилитель и уменьшает его коэффициент усиления. Поэтому автоматические однокоординатные компенсаторы могут работать только с датчиками, у которых во всем диапазоне измеряемых усилий изменение фазы выходного напряжения не превышает нескольких градусов.

В автоматических однокоординатных компенсаторах обычно стремятся применять компенсирующее устрой-

ство того же типа, что и датчик. В противном случае для компенсации фазового сдвига между измеряемым и компенсирующим напряжениями применяют специальные фазосдвигающие схемы.

Преимуществом однокоординатных компенсаторов является отсутствие модулятора, необходимого для преобразования постоянного напряжения небаланса в переменное, усиливаемое усилителем компенсатора.

В качестве компенсирующих устройств используются контактные потенциометры (реохорды) и бесконтактные. Контактные потенциометры наиболее простые и универсальные, поэтому они получили широкое распространение. Однако наличие контактного ролика снижает их надежность. В условиях буровой вторичные приборы эксплуатируются на открытом воздухе и подвергаются воздействию влаги, паров воды и т. д., которые вызывают коррозию провода реохорда и ухудшают контакт. Кроме того, износ контактного ролика и реохорда в результате измерения быстроменяющихся процессов и происходящее при этом загрязнение спирали продуктами износа ролика уменьшают разрешающую способность прибора и создают неустойчивость показаний.

Указанные недостатки отсутствуют в различных бесконтактных компенсирующих элементах [26, 32, 34, 35, 41].

В измерителях веса бурового инструмента применяются бесконтактные компенсирующие элементы индуктивного [31, 33] и тензометрического [15] типов.

ВЕРНЬЕРНЫЕ ВТОРИЧНЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ОСЕВОЙ НАГРУЗКИ НА ДОЛОТО

Особенность работы вторичных приборов для измерения веса бурового инструмента заключается в необходимости контроля как веса бурового инструмента, достигающего сотен тонн, так и осевой нагрузки на долото, составляющей всего несколько тонн. Чувствительность вторичного прибора, предел измерения которого равен предельной измеряемой нагрузке на крюке, недостаточна для контроля процесса бурения. Вследствие этого необходим дополнительный прибор — верньер, чувствительность которого в 4—6 раз больше, чем у основного прибора.

В существующих конструкциях измерителей веса бурового инструмента указанная задача решается следующими способами:

редукторной передачей, с помощью которой угол поворота стрелки верньерного прибора увеличивается в 4—6 раз относительно угла поворота стрелки основного прибора;

двумя отдельными измерительными приборами с различными диапазонами измерения, соответствующими максимально допустимой нагрузке на крюке и максимальной нагрузке на долото.

Рассмотрим подробнее указанные способы построения вторичных приборов.

В первом случае увеличение чувствительности осуществляется с помощью повышающего редуктора, входная ось которого связана с осью основного вторичного прибора или с осью датчика (гидравлического или механического), преобразующего измеряемое усилие в угловое перемещение. Выходная ось редуктора связана со стрелкой верньера либо непосредственно, либо через сельсинную передачу. Увеличение чувствительности верньерного прибора при помощи редуктора используется в гидравлических индикаторах веса и датчиках типа ДВ, входящих в состав пультов контроля бурения ПКБ.

Недостатком подобной измерительной системы является большая зона нечувствительности из-за наличия люфта в редукторе, увеличивающегося по мере его износа.

Во втором случае в качестве верньера и основного прибора (рис. 26) используются отдельные автоматические компенсаторы, которые подключаются к одному силовому датчику или к двум идентичным датчикам.

Контроль за осевой нагрузкой на долото ведется на нескольких диапазонах, переключение которых осуществляется переключателем Π , причем чувствительность на всех диапазонах одинакова. При достижении весом инструмента величины Q_1 , соответствующей пределу измерения на данном диапазоне, с помощью переключателя Π и делителя напряжения на резисторах компенсируется часть выходного напряжения датчика, соответствующая весу инструмента $Q_1 - q$, и контроль ведется в следующем диапазоне $(Q_1 - q) - Q_2$. Величина

q должна обеспечивать достаточное перекрытие диапазонов.

Ко второй группе относятся также приборы, которые производят автоматическое измерение и регистрацию не-

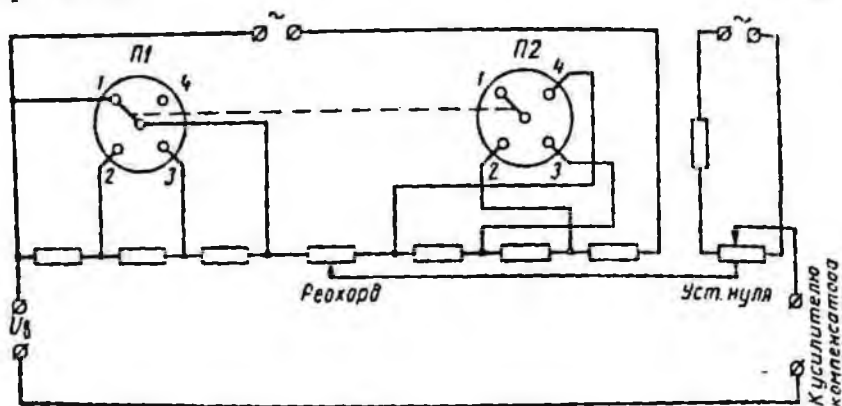


Рис. 26. Схема входной части верньерного прибора — измерителя веса бурового инструмента.

посредственно осевой нагрузки на долото. В общем случае подобные приборы состоят из двух следящих автокомпенсационных систем с реохордами P_1 и P_2 (рис. 27). Реохорд P_1 предназначен для контроля веса

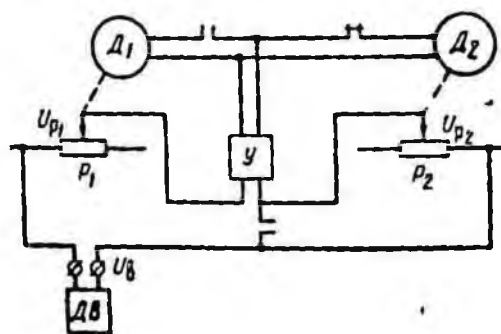


Рис. 27. Блок-схема прибора для автоматического измерения непосредственно осевой нагрузки на долото.

бурового инструмента, и величина его компенсирующего напряжения равна выходному напряжению датчика при поднятом над забоем инструменте.

Реохорд P_2 служит для контроля нагрузки на долото, и максимальное компенсирующее напряжение, снимаемое с него, в 4—6 раз меньше максимального напряжения на реохорде P_1 .

Перед началом бурения положение движка реохорда P_1 фиксирует полный вес инструмента, находящегося в приподнятом состоянии над забоем. После этого по сигналу бурильщика на вход усилителя подключаются выходы датчика веса $ДВ$ и реохордов P_1 и P_2 , а выход усилителя подключается к реверсивному двигателю $Д_2$, жестко связанному с движком реохорда P_2 . Вращение двигателя и перемещение движка реохорда P_2 будет продолжаться до тех пор, пока не будет выполнено условие

$$U_{P_2} = U_{P_1} - U_{\text{в}}, \quad (34)$$

где U_{P_1} , U_{P_2} — соответственно напряжения на реохордах P_1 и P_2 ; $U_{\text{в}}$ — выходное напряжение силоизмерительного датчика.

При этом стрелка, связанная с движком реохорда, будет автоматически показывать нагрузку на долото.

При спуско-подъемных операциях на вход усилителя поступает разность напряжений датчика веса и реохорда P_1 , выход усилителя подключается к реверсивному двигателю $Д_1$. Следящая система приводит схему в положение равновесия, и стрелка, сидящая на оси реохорда P_1 , показывает нагрузку на крюке.

Автоматические однокоординатные компенсаторы применяются в качестве вторичных приборов в измерителях веса ЭИВТ на кронблоке и крюке [12—14], в комплексе аппаратуры ИРБ и ПКМ для контроля процесса бурения разведочных скважин [22, 37] и в некоторых других измерителях.

Сравнительный анализ вторичных приборов показывает, что, учитывая специфику бурения, наиболее целесообразно использовать автоматические однокоординатные компенсаторы (с бесконтактными компенсирующими элементами) и следящие системы с сельсинами и усилителем момента. Эти приборы обеспечивают достаточно высокую чувствительность и быстродействие и позволяют получить большие размеры шкалы, хорошо видимой на расстоянии нескольких метров.

При использовании, в частности, исполнительного реверсивного двигателя типа РД-09 и времени пробега стрелкой шкалы, равном 1 сек, устанавливающий момент автоматического компенсатора составляет до 13 н·см, что обеспечивает стабильность показаний при наличии вибрации и ударов.

ЦИФРОВЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ОСЕВОЙ НАГРУЗКИ НА ДОЛОТО

Сильно развивающаяся в последние годы техника цифровых измерений — появившиеся конструкции щитовых цифровых приборов на элементах микроэлектроники — делает целесообразной постановку вопроса о применении цифровых измерителей веса инструмента и осевой нагрузки на долото.

Применение цифровых измерителей веса целесообразно также и ввиду развития информационно-вычислительных устройств, служащих для управления процессом бурения на основе обработки измерительной информации [33, 44].

Развитие вычислительной техники на основе микросхемотехники и интегральных схем позволит в ближайшие годы оснастить буровые цифровыми вычислительными устройствами, анализирующими режимы бурения и спуско-подъемных операций.

В качестве цифровых преобразователей в измерителях веса могут быть использованы два типа устройств: преобразователи «угол — цифра»; преобразователи «напряжение — цифра».

Преобразователи первого типа основаны как на принципе использования кодирующих дисков (прямое преобразование), так и на принципе преобразования угла поворота во временной интервал с помощью фазовращателей. Кодирующие диски и фазовращатели устанавливаются на оси стрелки рассмотренных выше вторичных приборов.

На кодирующий диск нанесена маска — определенное сочетание признаков, обеспечивающих съем цифровой информации в соответствующем коде. Кодирующие диски могут выполняться различного типа в зависимости от метода съема данных — контактного, оптического, электромагнитного [17].

Фазовращатели, в качестве которых могут использоваться сельсинны с трехфазной статорной обмоткой, образуют угол поворота стрелки вторичного прибора во временной интервал, заполняемый высокочастотными импульсами, число которых пропорционально углу поворота. В условиях бурения наиболее целесообразно применение фазовращателей и кодирующих дисков с электромагнитным съемом данных.

Преобразователи второго типа в зависимости от применяемых датчиков целесообразно строить на принципе цифровых автокомпенсаторов постоянного или переменного тока [41].

Не останавливаясь на схемном и конструктивном выполнении цифровых приборов, достаточно подробно описанных в [6, 41], отметим, что представление результата в цифровой форме при применении светящихся цифровых индикаторов может быть достаточно наглядным.

Однако необходимо отметить, что в условиях бурения цифровые приборы не могут полностью заменить аналоговых, а могут лишь являться дополнительными индикаторами, оценивающими некоторое усредненное значение веса инструмента или осевой нагрузки на долото. Применение аналоговых приборов необходимо для наглядной оценки тенденции изменения веса и контроля веса при быстрых изменениях нагрузки.

БЫСТРОДЕЙСТВИЕ ВТОРИЧНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ

При нормальных режимах работы и отсутствии прихватов наиболее быстрые изменения нагрузки на крюке происходят в моменты отрыва и посадки инструмента на элеватор. Осциллограммы, снятые при спуско-подъемных операциях на буровых № 75, 82, 280 для разного числа свечей, показывают, что скорость изменения нагрузок на крюке не превышает 100 Т/сек (980 кн/сек). Поскольку предел измерения приборов, предназначенных для контроля на глубинах свыше $3000\text{—}3500 \text{ м}$, бывает обычно не менее 200 Т , то при времени прохождения стрелкой прибора всей шкалы $T_{\text{пр}} \leq 2 \text{ сек}$ динамическая погрешность измерения не превышает $2\text{—}3\%$, что вполне допустимо.

В аварийном режиме во время прихвата скорость нарастания нагрузки зависит от глубины, на которой прои-

зошел прихват, скорости подъема инструмента, оснастки талевой системы, упругих свойств каната и труб, величин приведенной массы вращающихся частей двигателя и талевой системы и других факторов. При внезапном прихвате поднимаемого инструмента приращение нагрузки на крюке с учетом только первых трех указанных факторов можно выразить приближенно как

$$\Delta Q_{кр} = \frac{\Delta l_k}{l_k} E S'_k = \frac{\Delta l_{кол}}{l_{кол}} E S_{тр}, \quad (35)$$

где $\frac{\Delta l_k}{l_k}$, $\frac{\Delta l_{кол}}{l_{кол}}$ — соответственно относительное удлинение талевых каната и буровой колонны выше места прихвата; E — модуль упругости; $S_{тр}$ — сечение буровой трубы; S'_k — приведенное сечение каната,

$$S'_k = S_k \frac{Q_{кр}}{T_p} = S_k n,$$

здесь S_k — сечение каната; T_p — натяжение каната; n — число рабочих струн каната.

Отсюда

$$\Delta l_k = \frac{\Delta l_{кол} S_{тр} l_k}{l_{кол} S'_k}. \quad (36)$$

Длина каната, наматываемого на барабан лебедки после прихвата, складывается из удлинения каната и труб под действием нагрузки

$$\Delta l_{бар} = \Delta l_k + \Delta l_{кол}. \quad (37)$$

Решая совместно уравнения (35), (36) и (37), получим

$$\Delta Q_{кр} = \frac{\Delta l_{бар} E S_{тр}}{l_{кол} \left(1 + \frac{l_k S_{тр}}{l_{кол} S'_k} \right)}. \quad (38)$$

Определим наибольшую возможную скорость парастания нагрузки на крюке во время прихвата для буровой установки «Уралмаш-4Э». Задаемся следующими параметрами: оснастка талевой системы 5×6, диаметр каната 31 мм, буровые трубы 141 мм. Тогда $S'_k = 35,8 \text{ см}^2$, $S_{тр} = 41 \text{ см}^2$.

Наибольшей скорости нарастания нагрузки соответствуют следующие условия:

а) четвертая скорость подъема при оснастке 5×6

$$\frac{\Delta l_{\text{бар}}}{\Delta t} = 1,06 \text{ м/сек};$$

б) прихват вблизи устья скважины $l_{\text{кол}} = 300 \text{ м}$;

в) к моменту прихвата поднято над ротором больше половины свечи, $l_{\text{к}} \approx 300 \text{ м}$.

Подставляя эти данные в (38), находим наибольшую скорость нарастания нагрузки на крюке:

$$\Delta Q_{\text{кр}} = 17\,300 \text{ кн/сек.}$$

Для второй и третьей скоростей подъема расчетная скорость нарастания нагрузки составит соответственно 6560 кн/сек и 11 200 кн/сек.

Следовательно, во время прихвата скорость нарастания нагрузки может быть в десятки раз больше, чем при нормальных режимах работы. Однако возможность человеческого организма воспринимать и перерабатывать информацию о таких динамических процессах ограничена. Процесс восприятия отклонения индикатора и передача соответствующего нервного импульса мозгу длится примерно 0,3 сек, интерпретация полученного сигнала и ответная реакция продолжается несколько десятых секунды [21]. С учетом времени, необходимого для срабатывания исполнительных механизмов станции управления электродвигателями лебедки, в целом, от начала нарастания нагрузки до остановки лебедки проходит не менее 0,8—1 сек. Вследствие этого переданная бурильщику информация о быстрых изменениях нагрузки порядка десятков тонн в секунду не может быть им практически использована.

Согласно [10] бурильщик должен останавливать подъем при перегрузках более чем 10—20 Т (98—196 кн) сверх веса поднимаемого инструмента. Мгновенная перегрузка на 20 Т при времени пробега стрелкой всей шкалы $T_{\text{пр}} = 2 \text{ сек}$ и пределе измерения 200 Т отрабатывается следящей системой вторичного прибора за время $t \approx 0,3 \text{ сек}$. Уменьшение $T_{\text{пр}}$ до 1 сек уменьшает t до 0,2 сек. Так как получаемый выигрыш времени практически не влияет на полное время восприятия информа-

ции, то для указывающего прибора быстродействие может быть ограничено значением $T_{пр} = 2 \div 3 \text{ сек.}$

Поскольку регистрация переходного процесса позволяет по полученной диаграмме оценить характер переходного процесса и истинные значения возникающих усилий, то для регистрации целесообразно установить $T_{пр} = 0,5 \div 1 \text{ сек.}$

Дальнейшее уменьшение $T_{пр}$ связано со значительным усложнением регистрирующего прибора и в настоящее время нецелесообразно.

ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОМЕХ НА РАБОТУ ВТОРИЧНЫХ ПРИБОРОВ

Вторичные электрические приборы подвергаются на буровой воздействию различных электрических помех. Источники помех на буровой с электрическим приводом можно разделить на две группы:

электродвигатели привода роторного стола и лебедки и трансформаторы;

контакты и реле станций управления.

Источники первой группы создают как низкочастотные помехи, обусловленные полями рассеяния, так и высокочастотные помехи во время включения и отключения нагрузок.

Контакты и реле станций управления, коммутирующие токонесущие цепи, создают импульсные высокочастотные помехи, которые излучаются в окружающее пространство и распространяются по проводам питающей сети.

Помехи частотой 50 гц, совпадающие по фазе с выходным напряжением датчиков, вызывают погрешность в показаниях вторичных приборов.

Чрезмерно высокий уровень, высокочастотной помехи, а также квадратурной 50 гц на входе вторичного прибора автокомпенсационного типа может привести к насыщению усилителя и уменьшению коэффициента усиления, что, в свою очередь, ухудшает динамические свойства и увеличивает зону нечувствительности прибора. Наибольшее влияние помехи могут оказывать на верньерные приборы измерителей веса бурового инструмента с тензометрическими датчиками на кронблоке и крюке. Это объясняется следующими причинами:

чувствительность верньерных приборов в несколько раз больше, чем основных приборов, показывающих вес инструмента;

тензометрические датчики по сравнению с индуктивными и магнитоупругими имеют значительно меньший уровень выходного напряжения;

длина кабеля, связывающего датчики со вторичными приборами, наибольшая у измерителей на кронке и кронблоке и составляет 50—60 м.

Рассмотрим влияние помех на верньерный прибор автокомпенсационного типа измерителя веса на кронблоке ЭИВТ-1.

Допустимый уровень помех на входе автоматического компенсатора определяется следующими условиями [43]:

а) помеха частотой 50 гц, совпадающая по фазе с напряжением сигнала, не должна превышать напряжения трогания исполнительного двигателя, приведенного ко входу усилителя напряжения.

Максимальное измеряемое напряжение, соответствующее пределу измерения, на входе усилителя верньера ЭИВТ-1 равно 14 мв, напряжение помехи должно быть не более 20 мкв;

б) высокочастотные помехи не должны превышать 25% линейной области фазочувствительного усилителя мощности, что в данном случае соответствует напряжению на входе усилителя верньера около 100 мкв.

Для определения уровня помех были проведены исследования на буровой № 82, оснащенной буровой установкой «Уралмаш-4Э», с электродвигателями типа МАД-128-8 для привода роторного стола и АКБ-114-6 для привода лебедки.

Напряженность поля помехи измерялась датчиком в виде катушки диаметром 30 мм и длиной 50 мм, имеющей 300 витков. Запись производилась на осциллографе Н-102 вибратором МОВ-Х.

На осциллограмме (рис. 28,а), снятой во время операций спуска колонны (включение двигателей и подъем элеватора), показана напряженность магнитного поля двигателей лебедки типа АКБ-114-6 на расстоянии 1 м от торца двигателя. Номинальный ток двигателя 450 а, наибольшая величина пускового тока каждого двигателя во время осциллографирования — 1200 а.

На рис. 28,б показана осциллограмма, снятая во время роторного бурения на расстоянии 0,4 м от двигателей МАД-128-8. Номинальный ток каждого двигателя 225 а, наибольшая величина пускового тока 600 а.

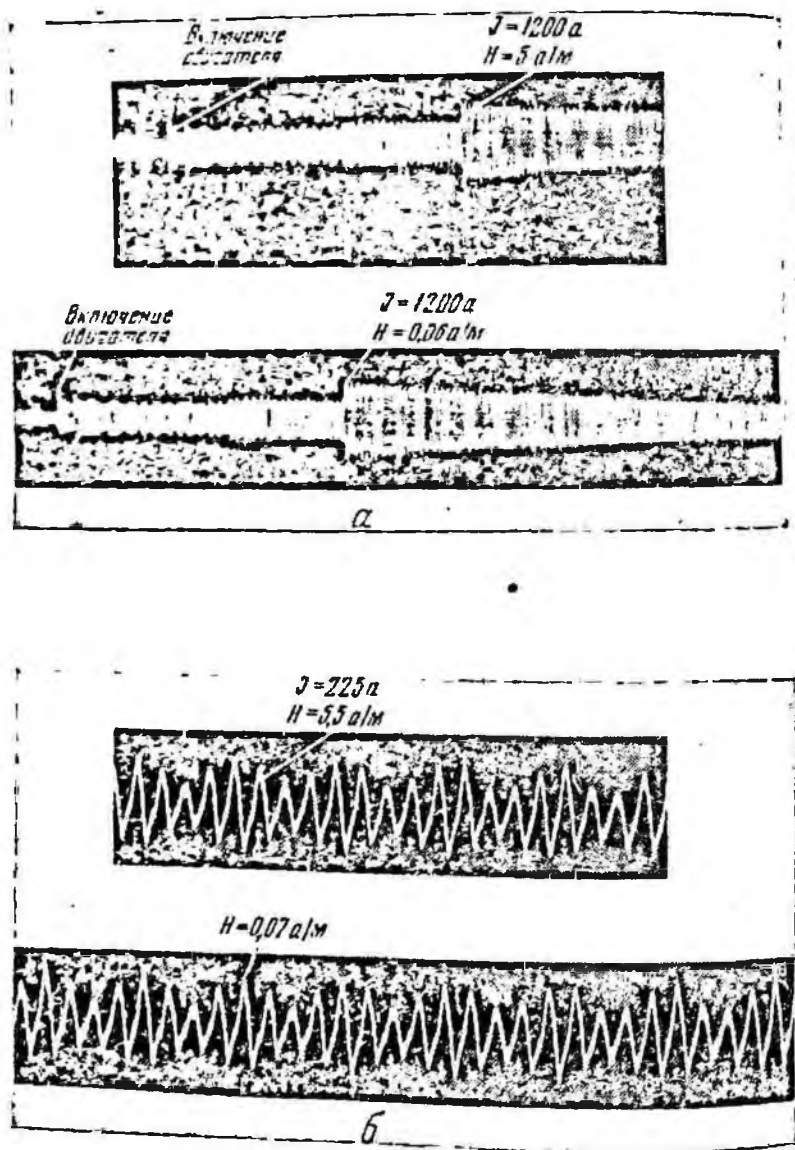


Рис. 28. Осциллограммы напряженности магнитного поля, снятые: а — во время операций спуска колонны; б — во время роторного бурения.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Низкочастотные помехи, создаваемые электродвигателями лебедки и роторного стола, содержат в основном гармонику 50 гц; содержание высших гармоник не превышает 10—15% (см. рис. 28,б).

2. Магнитное поле у приборной доски имеет небольшую интенсивность (максимальное значение напряженности магнитного поля не превышает 1,1 а/м).

Переменные магнитные поля частотой 50 гц индуцируют э. д. с. помехи $E_{\text{пом}}$ в соединительном кабеле связи между датчиками и вторичными приборами. Поскольку длина кабеля велика по сравнению с расстоянием от двигателей до нижней точки кабеля, то, представляя упрощенно измерительные жилы кабеля в виде двух параллельных проводов, расположенных в одной плоскости, можно определить э.д.с. помехи из выражения

$$E_{\text{пом}} = 2\pi f \mu_0 b_{\text{каб}} \int_{l_0}^{l_{\text{каб}}} H dl, \quad (39)$$

где f — частота помехи; μ_0 — абсолютная магнитная проницаемость, $\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6}$ гн/м; $b_{\text{каб}}$ — расстояние между жилами кабеля; $l_{\text{каб}}$ — длина кабеля; l_0 — расстояние от источника помехи до нижней точки кабеля; H — напряженность магнитного поля на участке кабеля; расположенном на расстоянии l от источника помехи.

Можно приближенно считать, что все точки нижнего участка кабеля длиной $l_n = 3 \div 5$ м удалены на одинаковое расстояние l_0 от источников помехи. Тогда, на этом участке $H = H_0 = \text{const}$. Для остальной части кабеля, проложенного вдоль ноги вышки, зависимость $H = f(l)$ можно представить приближенной как [4]

$$H = al^{-2}, \quad (40)$$

где a — постоянный множитель. Величину a можно выразить через напряженность магнитного поля H_0 в нижней части кабеля

$$a = H_0 l_0^2. \quad (41)$$

Подставляя значение H из (40) в (39) и учитывая постоянство величины H_0 на начальном участке длиной

l_n метров, получим допустимое значение напряженности $H_{0 \text{ доп}}$ на начальном участке кабеля

$$H_{0 \text{ доп}} \leq \frac{E_{\text{пом. доп}}}{2\pi l_0 b_{\text{каб}} \left[l_0^2 \left(\frac{1}{l_0 + l_n} - \frac{1}{l_{\text{каб}}} \right) + l_n \right]}, \quad (42)$$

где $E_{\text{пом. доп}}$ — допустимое значение э. д. с. помехи частоты 50 гц.

Рассчитаем наибольшее допустимое значение напряженности магнитного поля помехи частоты 50 гц, которое не создает погрешности верньерного прибора измерителя веса бурового инструмента на кронблоке ЭИВТ-1.

Для данного случая $l_{\text{каб}} = 60 \text{ м}$; $b_{\text{каб}} \approx 0,003 \text{ м}$; задаваясь $l_n = 5 \text{ м}$ и $l_0 = 3 \text{ м}$, для наибольшего допустимого значения э. д. с. помехи $E_{\text{пом. доп}} \leq 20 \text{ мкв}$ получим из (42) $H_{0 \text{ доп}} \leq 2,8 \text{ а/м}$.

Величина $H_{0 \text{ доп}}$ была получена, исходя из предположения, что жилы кабеля расположены в параллельных плоскостях. Поскольку в кабеле жилы перекрещиваются, то э. д. с. помехи на входе вторичного прибора уменьшается в несколько раз и величина допустимой напряженности магнитного поля возрастает в рассматриваемом случае до 10—15 а/м.

Следовательно, можно пренебречь влиянием магнитных полей помех частоты 50 гц, создаваемых полями рассеяния электродвигателей буровой, и использовать для связи между датчиками и вторичными приборами неэкранированный кабель.

Исследования интенсивности высокочастотных помех, наводимых во входной цепи вторичных приборов измерителя ЭИВТ-1, были проведены на буровой № 82. Вторичные приборы были связаны с датчиками неэкранированным кабелем. Для исследований использовался измеритель радиопомех типа ИП-12М. Запись уровня помехи производилась на осциллографе Н-102 вибратором МОВ-IX, включенным последовательно с индикаторным прибором измерителя радиопомех.

Как показали исследования, напряжение помехи на входе приборов для любой частоты не превысило 500 мкв. Подавление высокочастотной помехи такой ин-

тенсивности легко осуществляется настройкой в резонанс входного трансформатора усилителя прибора.

Для защиты от импульсных высокочастотных помех, распространяющихся по питающей сети, необходимо осуществлять питание вторичных приборов через заграждающие фильтры.

ТЕЛЕКОНТРОЛЬ ПРОЦЕССА БУРЕНИЯ СКВАЖИН

Централизованный контроль процесса бурения облегчает руководство с диспетчерского пункта работой буровых установок и всеми другими предприятиями треста буровых работ.

Диспетчер, находящийся в конторе бурения, должен получать непрерывную информацию о работе каждой буровой и, не дожидаясь сообщения с буровой, быстро реагировать на случаи недопустимого отклонения от заданного режима.

Передача всех параметров, характеризующих процесс бурения, весьма затруднительна. Поэтому целесообразно ограничиться передачей одного-двух параметров, которые достаточно полно характеризуют процесс бурения. Одним из таких параметров является вес бурового инструмента.

Аппаратура ТКБ для телеконтроля веса инструмента, а также давления на выходе грязевых насосов разработана в б. Грозненском филиале ВНИИКАНефтегаз [19, 27]. Блок-схема аппаратуры ТКБ показана на рис. 29. Передача информации осуществляется по проводам электропередач 6/0,4 кВ и может вестись по 12 каналам с несущими частотами от 20 до 104 кгц.

Первичный преобразователь *Пр* углового перемещения стрелки индикатора веса в частоту, представляющий собой оксиферовый сердечник, перемещающийся в электромагнитном поле резонансного трансформатора, связан со стрелкой прибора с помощью системы рычагов.

Линейное перемещение оксиферового сердечника преобразовывается в частоту двумя генераторами, причем генератор G_1 имеет стабильную частоту, а частота генератора G_2 меняется в зависимости от изменения индуктивности резонансного трансформатора. При сложении частот обоих генераторов возникают биения, которые

детектируются детектором D и поступают на вход фильтра низких частот Φ_H . Низкая частота с выхода фильтра через усилитель-модулятор $У$ управляет частотой генератора $ГВЧМ$, являющейся несущей и лежащей в пределах 20—104 кгц.

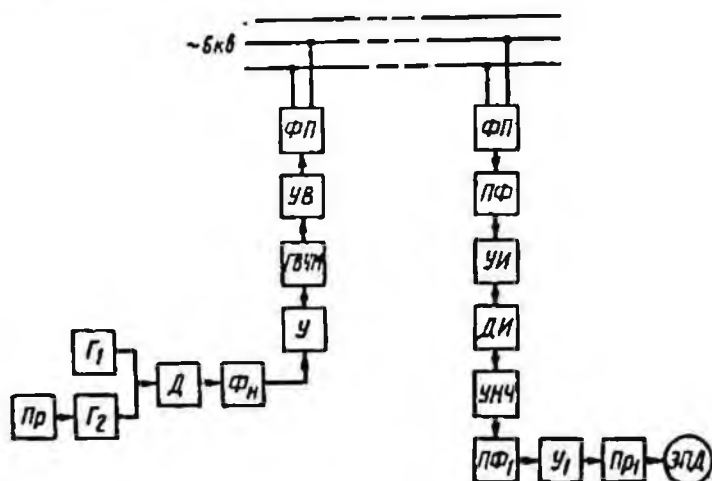


Рис. 29. Блок-схема аппаратуры телеконтроля веса бурового инструмента.

Частотно-модулируемый сигнал усиливается в выходном усилителе $УВ$ и через присоединительный фильтр $\Phi П$ (фильтр верхних частот с частотой среза, равной 8800 гц) поступает в линию связи. На диспетчерском пункте, расположенном в конторе бурения, высокочастотный сигнал через фильтр присоединения $\Phi П$ поступает на полосовые фильтры $ПФ$, служащие для частотного разделения каналов. Далее частотно-модулируемый сигнал усиливается в избирательном усилителе $УИ$ и детектируется дискриминатором $ДИ$. Выходное напряжение низкой частоты дискриминатора усиливается в усилителях низкой частоты $УНЧ$ и разделяется полосовыми фильтрами $ПФ_1$. На выходе фильтров выделяется частота, лежащая в диапазонах 60—90 гц или 110—140 гц и являющаяся функцией веса инструмента или давления на выходе насосов. Напряжение этой частоты после усиления и ограничения в усилителе $У_1$ поступает на вход преобразователя $Пр_1$. Преобразователь состоит из формирующего устройства, триггера и ключа. Формирующее

устройство, которое представляет собой ждущий мульти-вибратор, собранный на мостовом элементе задержки, формирует импульс с крутым передним фронтом, перебрасывающий триггер из одного состояния в другое. Триггер управляет ключом. Пульсирующее напряжение на выходе ключа сглаживается емкостным фильтром и поступает на вход регистрирующего прибора типа ЭПД. Для компенсации начального напряжения используется отдельный источник стабилизированного постоянного напряжения.

Техническая характеристика аппаратуры ТКБ

Несущие частоты каналов, кГц	20, 27, 34, 41, 48, 62, 69, 76, 83, 90, 97, 104
Диапазоны изменения частоты первичных преобразователей, гц	60—90; 110—140
Выходная мощность передатчика, вт . . .	5
Допустимое затухание линии связи, дБ . . .	10
Основная погрешность, %:	
первичного преобразователя	1,5
приемников в диапазоне рабочих частот	1,5

Система ТКБ внедрена в НПУ «Старогрознефть» объединения «Грознефть».

ИЗМЕРИТЕЛИ ВЕСА БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА И ОСЕВОЙ НАГРУЗКИ НА ДОЛОТО

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ ВЕСА БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА

Гидравлические индикаторы типа ГИВ

Эти индикаторы предназначены для измерения и регистрации натяжения неподвижного конца талевого каната [25, 46]. Все индикаторы измеряют горизонтальную составляющую натяжения каната, преломленного между двумя крайними роликами, опирающимися на корпус гидравлического датчика (трансформатора давления), и средним роликом, передающим усилие на мембрану трансформатора.

Трансформатор давления (рис. 30) преобразовывает усилия натяжения неподвижного конца каната в пропорциональное давление жидкости, которое передается на показывающие и самопишущий манометры. Корпус 1

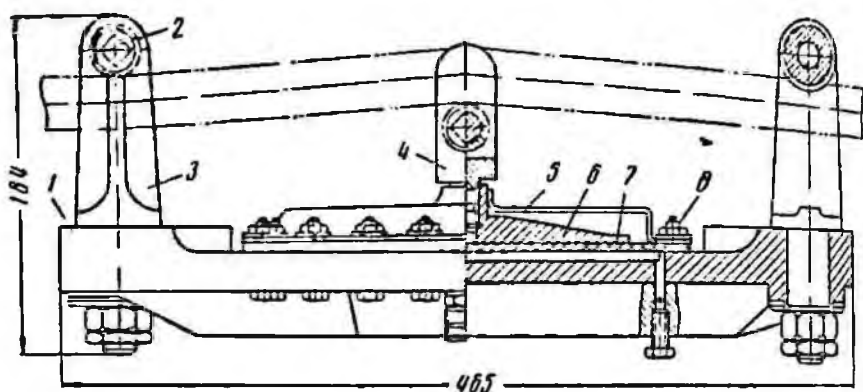


Рис. 30. Трансформатор давления для измерения усилий до 18 Т.

и резиновая мембрана 7 образуют камеру давления трансформатора. Мембрана прижата к корпусу крышкой 5 с помощью болтов 8. На мембрану опирается подвижная тарелка 6, несущая опору 4 среднего ролика. В приливах корпуса гайками и контргайками крепятся опоры 3, несущие крайние ролики 2. Конструкция крепления и размеры всех трех роликов одинаковы. С помощью штуцера трансформатор соединяется дюритовым шлангом с магистралью, идущей к показывающим и регистрирующему манометрам.

Для удаления воздуха из камеры давления при заполнении ее жидкостью служит отверстие, закрываемое пробкой. Стрела прогиба каната, а следовательно, и величина измеряемого усилия регулируется прокладками, устанавливаемыми под торцы средней и крайних опор роликов.

Трансформаторы давления имеют три модификации: ТД-2А для канатов диаметрами 15—19 мм с пределами измерения усилий натяжения неподвижного конца от 0,1 до 4 Т (0,98÷39 кН) и от 0,2 до 8 Т (1,96÷78,4 кН). ТД-4 для канатов диаметрами 22—28 мм с пределами измерения усилий натяжения от 0,5 до 12 Т (4,9÷

$\div 117,6$ кн), от 0,5 до 15 Т ($4,9 \div 147$ кн) и от 0,5 до 18 Т ($4,9 \div 176,4$ кн);

ТД-5 для канатов диаметром 32—38 мм с пределами измерения усилий натяжения от 0,8 до 20 Т ($7,84 \div 196$ кн) и от 0,8 до 25 Т ($7,84 \div 245$ кн).

Чувствительными элементами показывающих манометров служат трубчатые пружины, которые связаны со стрелками манометров передаточными механизмами.

Вследствие объемных деформаций упругих элементов манометров и соединительных трубок при изменении давления тарелка трансформатора несколько перемещается и изменяет угол прогиба каната. Это обуславливает нелинейную зависимость показаний манометров от усилий в канате. Для определения веса инструмента пользуются градуировочными таблицами, которые определяют цену деления безразмерных шкал манометров.

Трансформаторы давления тарируются по канату определенного диаметра. Тарировка действительна только при установке трансформатора на канат данного диаметра. При замене каната необходима новая тарировка прибора.

Технические данные гидравлических индикаторов веса приведены в табл. 4.

ГИВГ-1 не имеет верньер-манометра и применяется при бурении геологоразведочными станками. Все остальные индикаторы предназначены для контроля при бурении тяжелыми буровыми установками. В индикаторах ГИВ-2 и ГИВ6-1 основной манометр и верньер-манометр выполнены в виде отдельных блоков. ГИВД-2, ГИВ-4, ГИВ-4М имеют совмещенную конструкцию основного манометра и верньер-манометра, кроме того, в их состав дополнительно входят манометры для измерения давления промывочной жидкости.

Индикаторы ГИВ6 [5] имеют три модификации:

ГИВ6-1, который состоит из трансформатора давления, основного и верньерного манометров и щита с регистрирующим манометром;

ГИВ6-2 — без верньер-манометра;

ГИВ6-3 — без верньер-манометра и регистрирующего манометра.

Зарубежные гидравлические индикаторы веса фирмы «Мартин Деккер» и других фирм имеют аналогичные характеристики [53].

Основные технические данные гидравлических индикаторов веса типа ГИВ

Показатели	ГИВГ-1	ГИВ-2	ГИВД-2	ГИВ-4М	ГИВ-4	ГИВБ-1
Предел измерения натяжения неподвижного конца тросового каната, Т	8	18	8	18	18	25
Основная приведенная погрешность измерения натяжения, %	± 4	$\pm 2,5$	$\pm 2,5$	$\pm 2,5$	$\pm 2,5$	$\pm 2,5$
Расчетные диаметры канатов, мм	15—19	22—28	15—19	15—28	22—28	15—38
Максимальное рабочее давление в гидравлической системе, кг/см ²	8	8	10	10	10	10
Угол поворота стрелок показывающих манометров, град:						
основного манометра	270	270	270	270	270	270
верньер-манометра	—	1800	1800	1800	1800	1800
Тип самопишущего манометра . .	МГ-410	МГ-410	МСТМ-430	МСТМ-430	МСТМ-430	МСТМ-430
Скорость вращения диаграммы, об/сутки	1	1	1	1	1	1

*Гидравлический индикатор веса инструмента
с датчиком, устанавливаемым в устройстве
для крепления каната*

Индикатор входит в состав пульта бурильщика КРБ-50, предназначенного для контроля основных технологических параметров бурения на буровой установке БУ-50Бр [25].

Вес инструмента определяется по натяжению неподвижного конца талевого каната, закрепленного на барабане специального устройства. В качестве датчика веса используется гидравлическая мессдоза (рис. 31).

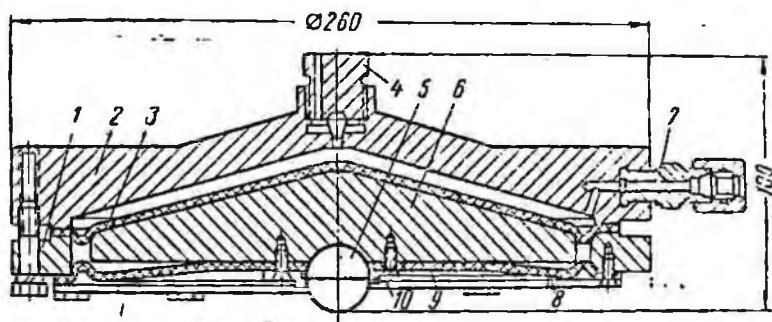


Рис. 31. Мембранная мессдоза для измерения веса инструмента.

Камера мессдозы образуется корпусом 2 и резиновой мембраной 3, прижатой к корпусу кольцом 1. Усилие на мембрану передается поплавком 6 с опорным шариком 5, закрепленным кольцом 10. Камера мессдозы дополнительно защищена мембраной 9, зажатой кольцом 8. Трубопровод присоединяется к мембране штуцером 7, две пробки 4 служат для выпуска воздуха при заполнении системы жидкостью.

Усилие нажатия рычага барабана на опорный ролик преобразуется в мессдозе в давление жидкости, которое измеряется двухстрелочным манометром с верньерным устройством, как в гидравлических индикаторах типа ГИВ. Регистрация веса инструмента производится самопишущим манометром типа МСТМ-430. Максимальное давление в системе 15 кг/см^2 .

За рубежом гидравлические индикаторы веса инструмента с мессдозой, устанавливаемой в устройстве для

крепления каната, выпускаются фирмами «Нейшенелл Сеплай», «Мартин Деккер» и другими [53].

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ ВЕСА БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА НА НЕПОДВИЖНОМ КОНЦЕ КАНАТА

Разработка электрических приборов для контроля веса бурового инструмента и осевой нагрузки на долото была начата впервые в АзИНЕФТЕХИИ им. М. Азизбекова. В дальнейшем эти работы получили развитие во ВНИИКАНефтегаз, АзНИЭТИ, СКБ Министерства геологии СССР, Куйбышевском НИИИП и других организациях.

Электрические индикаторы с трансформаторными датчиками на неподвижном конце каната

На рис. 32 показан индикатор, разработанный в АзИНЕФТЕХИИ им. М. Азизбекова [29, 30]. Упругий элемент индикатора веса состоит из двух плоских стальных пластин 9, связанных между собой хомутом 15 и пальцами 2 с гайками 11. Канат опирается на ролики 10, сидящие на втулках 1, и поджимается к седлу 14, находящемуся в центре стальных пластин, при помощи накладки 13 и гаек 12.

Трансформаторный датчик, примененный в указанном индикаторе описан на стр. 34. Датчик состоит из двух стальных сердечников с возбуждающей и измерительной обмотками.

Сердечник 6 прикреплен к хомуту 15 упругого элемента, сердечник 7 — к балке 5, соединенной со стальными пластинами при помощи упругих стоек 4 и вкладышей 3. Датчик закрывается кожухом 8. При натяжении каната пластины 9 прогибаются, изменяется расстояние между хомутом 15 и балкой 5, вследствие чего происходит относительное смещение сердечников датчика.

В качестве вторичного прибора используется ферродинамический измеритель.

В одной из последних конструкций электрического индикатора веса инструмента и нагрузки на долото, разработанного в Куйбышевском НИИНП [31], использован датчик трансформаторного типа с короткозамкнутым витком.

Индикатор служит для непрерывной записи величины осевой нагрузки на долото в процессе долбления.

Во время спуско-подъемных операций индикатор может быть использован для контроля и регистрации веса инструмента.

Упругий элемент с трансформаторным датчиком устанавливается непосредственно на неподвижном конце талевого каната.

Принципиальная схема индикатора представлена на рис. 33. Измерительный и регистрирующий прибор разработан в двух исполнениях: с контактными потенциометрами (реохордами) и с бесконтактными потенциометрами в виде индуктивных преобразователей угловых перемещений. Прибор может работать в двух режимах, переключение производится переключателем *ВК* с помощью релейной схемы. В первом режиме производится запись веса инструмента во время спуско-подъемных операций, во втором запись осевой нагрузки на долото.

В режиме записи веса инструмента на вход усилителя поступает разность напряжения датчика веса *ДВ* и напряжения U_{P_1} снимаемого с реохорда *P*₁; выход усилителя подключается к управляющей обмотке ревер-

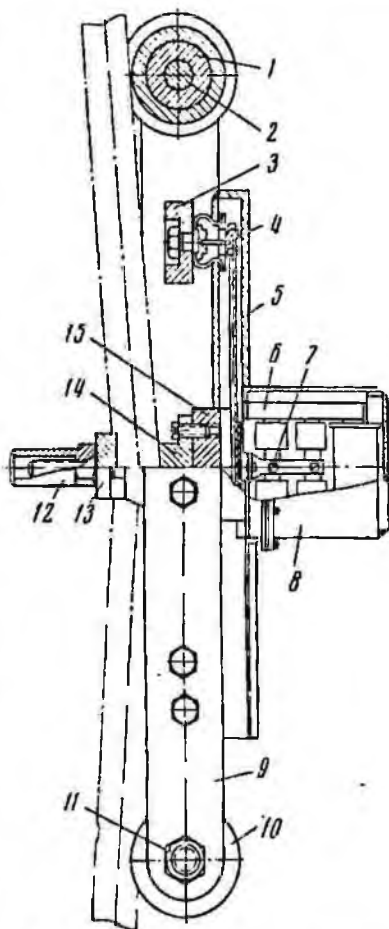


Рис. 32. Электрический индикатор с трансформаторным датчиком.

сивного двигателя D_1 . Положение движка реохорда и связанной с ним стрелки на шкале регистратора $Q_{сп}$ определяют вес инструмента во время спуско-подъемных операций.

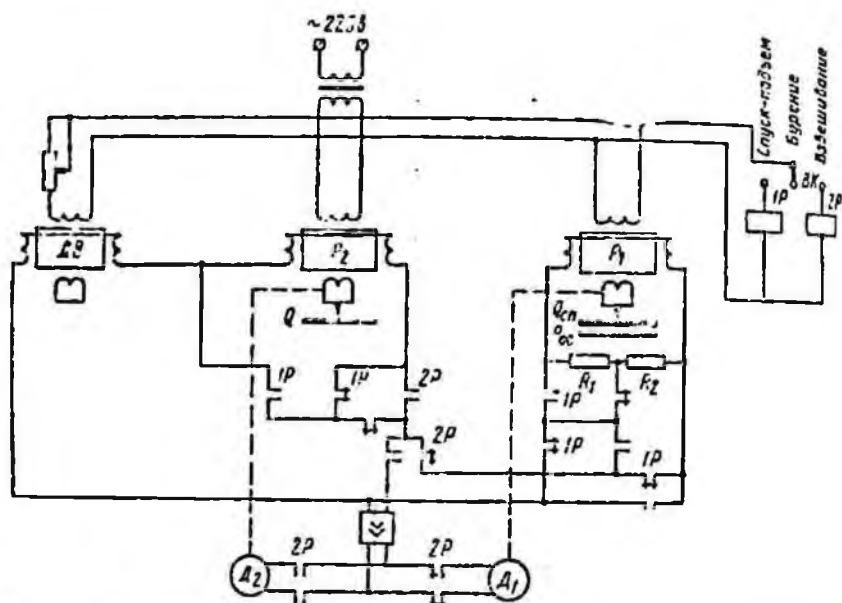


Рис. 33. Принципиальная электрическая схема вторичного прибора, разработанного Куйбышевским НИИНП.

Перед началом бурения производится операция «Взвешивание». При этом на вход усилителя поступает разность напряжения датчика веса $ДВ$ и напряжения U_{P_2} , снимаемого с реохорда P_2 , причем $U_{P_1} = U_{P_2}$. С выхода усилителя напряжение подается на управляющую обмотку реверсивного двигателя D_2 . Вторая стрелка прибора, связанная с движком реохорда P_2 , покажет на шкале Q полный вес инструмента перед началом бурения.

В режиме записи осевой нагрузки на долото напряжение с выхода усилителя переключается на управляющую обмотку двигателя D_1 и на вход усилителя подаются три напряжения: с датчика веса, реохорда P_2 и с резистора R_2 делителя напряжения R_1, R_2 , подключенного к выходу реохорда P_1 , причем напряжение U_{R_2} на резисторе R_2 равно $0,5 U_{R_1}$. Положение движка ре-

хорда P_1 и связанного с ним пера регистратора будет автоматически контролировать величину осевой нагрузки на долото в процессе бурения.

Величина осевой нагрузки отсчитывается по шкале $P_{ос}$.

Основные технические данные индикатора

Напряжение питания переменного тока частотой 50 гц, в	220
Предел измерения в режиме записи, Т:	
веса инструмента	150
осевой нагрузки на долото	50
Основная приведенная погрешность измерения натяжения неподвижного конца каната, %	1,5
Время пробега стрелкой всей шкалы, сек	0,8

Электрические индикаторы с электромеханическими датчиками на неподвижном конце каната

Индикатор с датчиком ДВ-9 входит в состав контрольного пульта бурильщика ПКБ-2, предназначенного для контроля основных технологических параметров процесса бурения на установках грузоподъемностью 75 Т (735 кн), 125 Т (1225 кн) и 200 Т (1360 кн) завода «Баррикады» и Уралмашзавода. Индикатор разработан во ВНИИКАНефтегаз [25, 39] и состоит из датчика типа ДВ-9, устанавливаемого в устройстве для крепления неподвижного конца каната, и вторичных припоров*.

Общий вид датчика типа ДВ-9 показан на рис. 34. Упругим элементом датчика является балка 2, свободно опирающаяся на цилиндрические пальцы 1. Измеряемое усилие передается на балку через подвижную пятую 4, герметизированную резиновой мембраной 5. Прогиб упругой балки, пропорциональный измеряемому усилию, преобразуется в угол поворота бесконтактных сельсинов с помощью передаточного механизма 3.

Межцентровое расстояние между сельсинами и сектором передаточного механизма регулируется эксцентриковыми втулками, корпуса сельсинов фиксируются прижимами 6, а лифт в передаче выбирается спираль-

* Пульт контроля процесса бурения ПКБ-2. Информация. М., ОНТИПРИБОР, 1967.

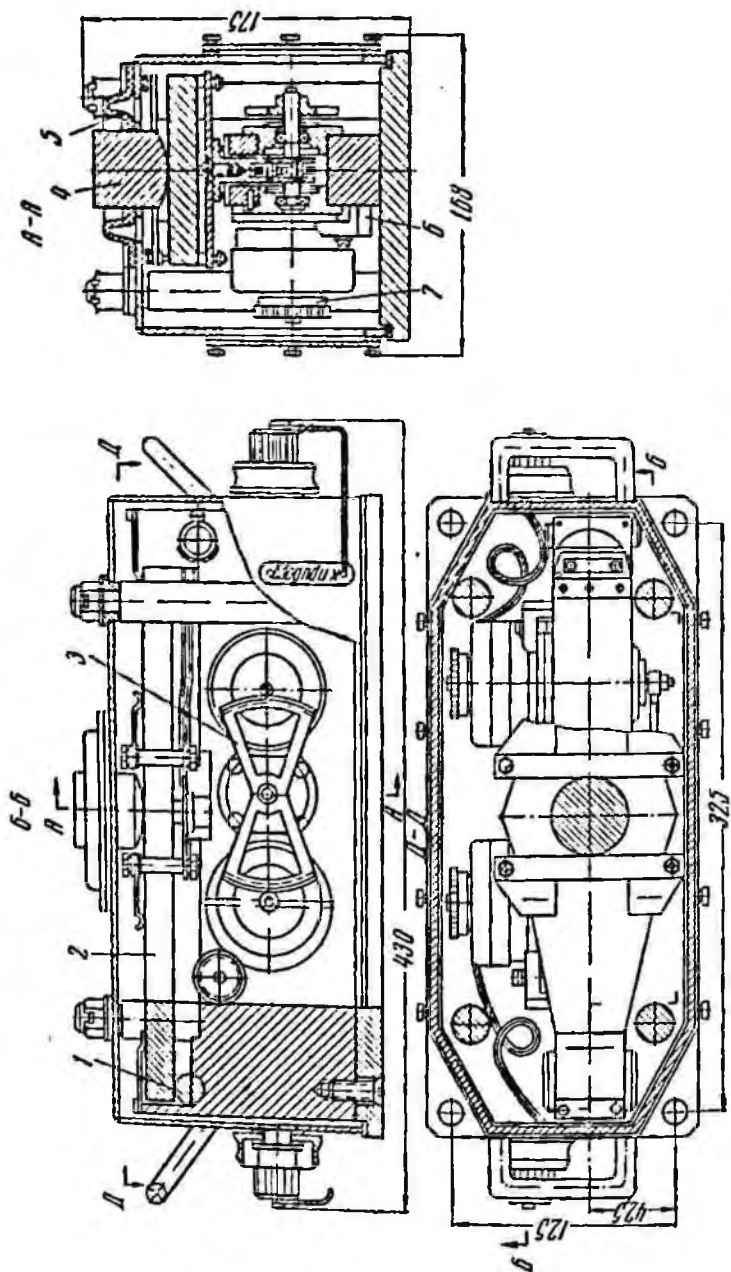


Рис. 34. Электромеханический датчик типа ДВ-9.

ными ленточными пружинами на оси сельсинов, скрытыми под крышками 7. Предельное измеряемое усилие составляет 5 Т (49 кН).

Принципиальная электрическая схема индикатора веса бурового инструмента, входящего в состав пульта ПКБ-2, приведена на рис. 35. Вторичные показывающие

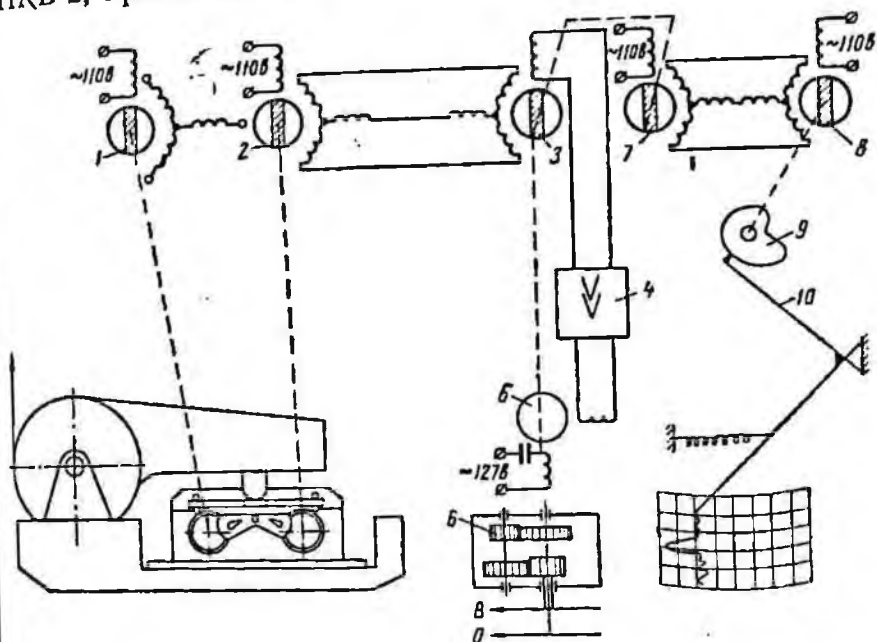


Рис. 35. Принципиальная электрическая схема индикатора веса с датчиком ДВ-9.

и регистрирующие приборы, входящие в состав блока указателей и блока регистраторов пульта, содержат бесконтактные сельсины-приемники, связанные электрическим кабелем с соответствующими сельсинами датчика ДВ-9. Сельсин-приемник показывающего прибора 3, подключен к сельсину-датчику 2 через усилитель момента, состоящий из электронного усилителя 4 и реверсивного двигателя 5, благодаря чему увеличивается вращающий момент на оси стрелки. Показывающий прибор имеет две стрелки — основную О и верньерную В, включенную через повышающий редуктор 6.

Для записи веса инструмента применяется дополнительная сельсинная передача от сельсина 7 к регистратору. При повороте ротора приемного сельсина 8 кула-

чок 9, посаженный на его оси, отклоняет водило 10 с пишущей стрелкой.

Сигнал, снимаемый с сельсина-датчика 1, используется для управления автоматом подачи долота.

Основные технические данные индикатора веса с датчиком ДВ-9

Напряжение питания переменного тока частоты 50 гц, в	220
Пределы измерения веса инструмента (за счет смежных шкал), Т	100, 150, 200
Основная приведенная погрешность измерения натяжения неподвижного конца каната, %	$\pm 2,5$
Угол поворота стрелок измерителя веса, град:	
основной	300
верньерной	1800

Пульты контроля бурения ПКБ-2 выпускаются Ивано-Франковским приборостроительным заводом.

Датчик типа ДВР-26 [25, 50] разработан в Гипронефтемаш и предназначен для измерения веса инструмента в схеме регулятора подачи долота РПДЭ-3.

Датчик рессорного типа устанавливается на неподвижном конце каната. При натяжении каната рессоры изгибаются и рычаг, прикрепленный к одному из концов рессор, через механическую передачу поворачивает ротор сельсина.

Чувствительность датчика определяется как отношение угла поворота ротора сельсина к изменению натяжения каната и зависит от диаметра каната и оснастки талевой системы. Средняя чувствительность составляет 10 град/Т.

Регулятор РПДЭ-3 выпускается серийно и входит в комплект буровых установок Уралмаш 125БД, Уралмаш 125БЭ, БУ-80БрД, БУ-80БрЭ.

Электрические индикаторы с тензометрическими датчиками на неподвижном конце каната

Индикатор нагрузки в самоходных агрегатах для подземного ремонта скважин разработан в АзНИЭТИ и предназначен для работы с агрегатами «АзИНМАШ 37». Индикатор состоит

из силоизмерительного датчика, устанавливаемого в устройстве для крепления неподвижного конца каната, вторичного показывающего и регистрирующего приборов и блока питания.

Силовизмерительный датчик тензометрического типа показан на рис. 36. Упругим элементом датчика является

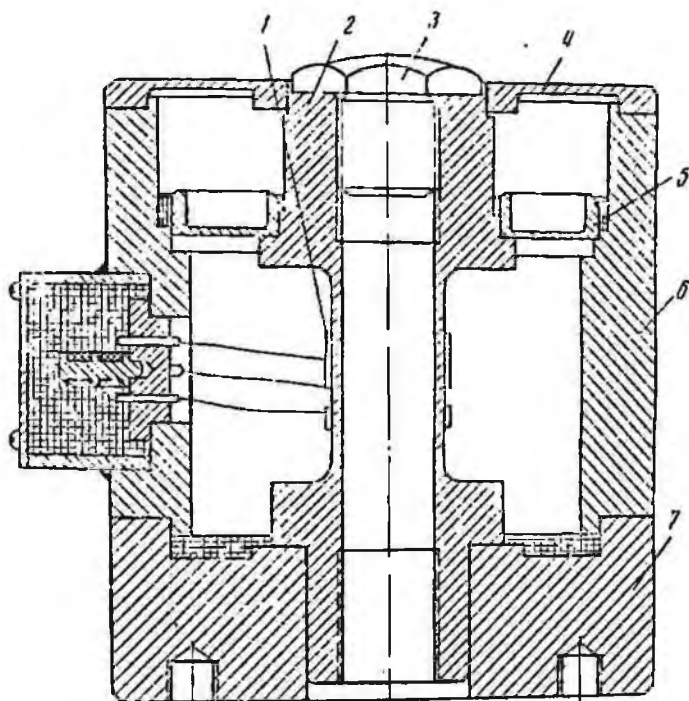


Рис. 36. Силовизмерительный датчик тензометрического типа индикатора нагрузки для самоходного агрегата.

является цилиндр 2 из стали 40Х с наклеенными на него фольговыми тензометрами 1. Тензометры соединяются в мостовую схему. Предельной измеряемой нагрузке 5 Т (49 кН) соответствует механическое напряжение 25 кг/мм^2 (245 кН/мм^2) в средней части цилиндра на участке наклейки тензометров. Упругий элемент запрессовывается в основание 7 и воспринимает измеряемое усилие через упорный болт 3. Мембрана 5 уменьшает чувствительность датчика к горизонтальной составляющей измеряемого усилия. Корпус 6 крепится к основанию и закрывается крышкой 4. Надежная герметизация

датчика обеспечивается битумной массой, закрывающей стыки деталей оболочки и патрубков, служащий для ввода соединительного кабеля.

Вторичный показывающий и регистрирующий прибор представляет собой автоматический однокоординатный компенсатор переменного тока и устанавливается на пульте управления в кабине агрегата.

Усилитель компенсатора выполнен на полупроводниковых элементах. Связь между каскадами усилителя непосредственная, что позволяет упростить схему и исключить фазовый сдвиг в усилителе. Перо регистратора связано с осью исполнительного двигателя показывающего прибора через механическую передачу.

Конструкция прибора обеспечивает его надежную работу при вибрациях узлов агрегата.

Блок питания представляет собой транзисторный преобразователь напряжения аккумуляторной батареи в переменное частоты 50 гц. Преобразователь состоит из задающего генератора, питаемого через стабилизатор напряжения, и усилителя мощности.

Вторичный прибор может питаться непосредственно от сети переменного тока частоты 50 гц.

Основные технические данные индикатора нагрузки для самоходного агрегата

Напряжение питания:	
постоянное, в	24
переменное частоты 50 гц, в	220
Допустимое изменение напряжения, %	От -20 до +15
Предел измерения нагрузки на крюке самоходного агрегата, Т	50
Основная приведенная погрешность измерения натяжения неподвижного конца каната, %	
	2,0
Время прохождения стрелкой шкалы прибора, сек	3
Ток, потребляемый от аккумуляторной батареи агрегата, а	0,7

На рис. 37 показан датчик, установленный на самоходном агрегате.

Датчик веса рессорного типа для осциллографирования натяжения неподвижного конца каната разработан в АзНИЭТИ

и устанавливается на неподвижном конце каната. Упругий элемент датчика представляет собой пластину равного сопротивления изгибу из стали 40Х. На пластину с обеих сторон наклеены фольговые тензометры типа ФКП-10-100, соединенные в мостовую схему. Выходное

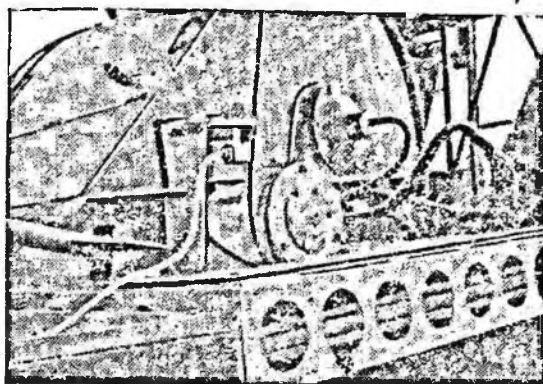


Рис. 37. Силовизмерительный датчик, установленный на самоходном агрегате.

напряжение датчика может осциллографироваться непосредственно чувствительным шлейфовым вибратором, например МОВ-Х, без предварительного усиления.

**Основные технические данные датчика веса
рессорного типа**

Напряжение питания постоянного тока, в	24
Предельное измеряемое натяжение каната, Т	18
Нелинейность характеристики, %	2
Выходной ток при предельном измеряемом натяжении и электрической нагрузке 100 ом, мка .	120

Электрические индикаторы с магнитоупругими датчиками на неподвижном конце каната

Электрические индикаторы на неподвижном конце каната с магнитоупругими датчиками сжимающих (типа ДНС) и растягивающих типа (ДНР) усилий разработаны в СКБ Министерства геологии СССР.

Датчики ДНС1 — ДНС2,5 и ДНР вместе с двухшкальными показывающими приборами ПКР21Б входят в комплект индикаторов веса инструмента типа МКН1, предназначенных для оснащения геологоразведочных буровых установок ЗИФ-300, ЗИФ-650 и ЗИФ-1200. Датчик ДНС4 и вторичный прибор ПКР21Б входят в состав аппаратуры ИРБ-61 и ИРБ-62 для контроля процесса бурения, предназначенной для оснащения установок БУ-80БрД и БУ-125БрД [37].

Конструкция датчика ДНС4 приведена на рис. 38.

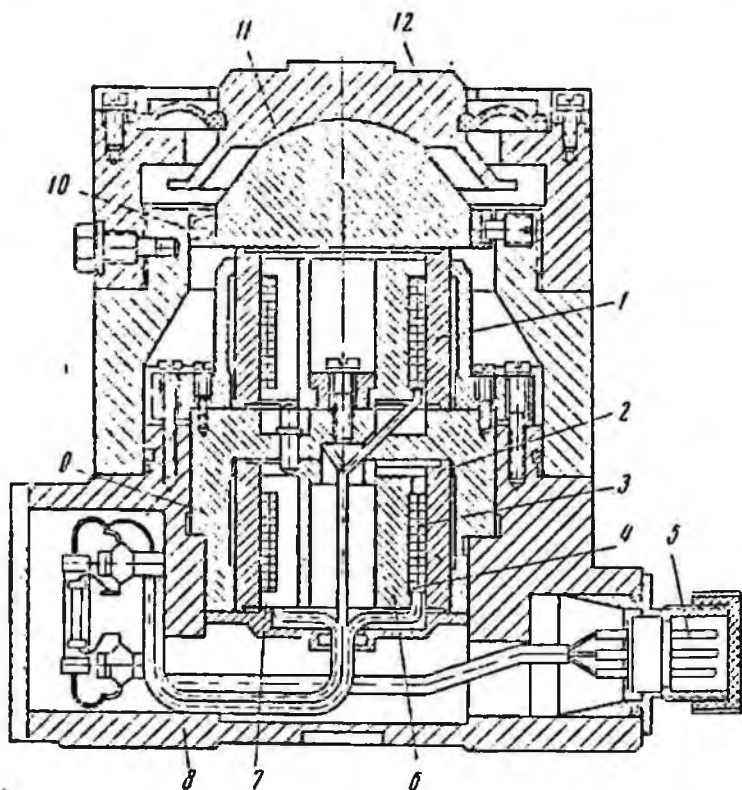


Рис. 38. Датчик типа ДНС4.

Датчик содержит два магнитоупругих преобразователя — активный и компенсационный, имеющих одинаковую конструкцию. Преобразователь состоит из элемента в виде полого цилиндра из стали К50Ф2, магнитпровода, набранного из пакетов 7 листовой трансформаторной

стали, армированных в цилиндрическом сердечнике 6. На каждый магнитопровод наложены измерительная обмотка 3 и возбуждающая обмотка 4.

Измеряемое усилие передается через подпятник 12 и пята 11 на чувствительный элемент 1 активного преобразователя и затем через опору 9 на корпус 8. При этом элемент 2 компенсационного преобразователя усилия не воспринимает. Центрирующие шарики 10 уменьшают влияние боковых усилий, действующих на подпятник. Датчик подключается к измерительной схеме через штепсельный разъем 5.

Аналогичную конструкцию имеют датчики ДНС1 — ДНС2,5. В датчике типа ДНР измеряемое растягивающее усилие преобразуется в усилие сжатия магнитоупругого преобразователя, причем конструкции преобразователей в датчиках сжимающих и растягивающих усилий одинаковы.

Магнитоупругие преобразователи соединяются по дифференциально-трансформаторной схеме. Обмотки возбуждения преобразователей соединены последовательно и питаются переменным током частоты 50 гц, измерительные обмотки соединены встречно.

Датчик типа ДНР крепится между рамным брусом и неподвижным концом каната. Датчики типа ДНС устанавливаются в устройствах для крепления неподвижного конца каната барабанного типа.

Вторичный показывающий прибор ПКР21Б представляет собой автоматический однокоординатный компенсатор переменного тока. Прибор содержит два бесконтактных индуктивных потенциометра типа ИП, связанных со шкалами «Вес инструмента» и «Нагрузка на долото», усилитель, выполняемый на полупроводниковых элементах, и исполнительный двигатель РД-09. При спуско-подъемных операциях включен потенциометр веса ИП-В. Перед началом бурения потенциометр затормаживается и «запоминает» вес инструмента, а в измерительную схему подключается потенциометр нагрузки на долото ИП-З. К усилителю прибора подводится сумма напряжений от датчика, заторможенного потенциометра веса ИП-В и компенсирующее напряжение потенциометра ИП-З. При подаче инструмента нагрузка на долото после автоматического уравнивания схемы отсчитывается по шкале потенциометра ИП-З.

Основные технические данные индикаторов типа ДНС и ДНР

Напряжение питания переменного тока частоты 50 гц, в	220, 380
Пределы измерения по шкале, Т:	
„Вес инструмента“	5; 6; 16; 150; 200
„Нагрузка на долото“	2,5; 3; 4; 50; 100
Номинальное выходное напряжение датчиков, соответствующее пределу измерения, в	1,5
Максимальная нелинейность характеристики датчиков, %	+1,5
Номинальный фазовый сдвиг выходного напряжения датчиков относительно напряжения питания, град	0,5
Основная приведенная погрешность измерения натяжения неподвижного конца каната, %	2,5

Магнитоупругие датчики типа ДНС и ДНР могут быть также использованы для доукомплектования аппаратуры контроля процесса бурения ИРБ-41 и ПКМЗНФ-650 [22] для геологоразведочных установок с целью обеспечения измерения веса инструмента и нагрузки на долото при бурении со свободной подачей. При этом имеющийся в указанной аппаратуре вторичный прибор ПКР21 может переключаться с датчиков электрогидравлического типа (при подаче бурового инструмента гидравликой станка) на датчик типа ДНР или ДНС при подаче с барабана лебедки.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛИ ВЕСА ИНСТРУМЕНТА НА КРОНБЛОКЕ И В КРЮКЕ

Измерители ЭИВТ-1 и ЭИВМ, разработанные в АзНИИЭТН, предназначены для контроля веса бурового инструмента и осевой нагрузки на долото по усилиям, передаваемым кронблоком на подкронблочные балки.

Измеритель ЭИВТ-1 состоит из четырех тензометрических силовых измерительных датчиков, встроенных в кронблок КБНД7-300, вторичных показывающих и регистрирующих приборов и соединительного кабеля.

Датчики размещены на подкронблочных балках под четырьмя углами рамы кронблока. Подобная установка датчиков исключает погрешность, вызванную перемеще-

нием равнодействующих сил, действующих на ось кронблока при изменении направления движения инструмента, и не требует дополнительной тарировки датчиков вместе с кронблоком на буровой.

Для работы с датчиками совместно с СБК завода «Бакинский рабочий» разработан специальный кронблок КБНД7-300 (рис. 39) с вырезами в раме для размещения защитных кожухов с датчиками. Датчик устанавливается в кожух со свободной посадкой и выступает из него на 5 мм.

Датчики (рис. 40), входящие в состав измерителя ЭИВТ-1, рассчитаны на предельную нагрузку 75 Т (735 кН) и являются продолжением нормального ряда датчиков по отраслевой нормали ОТ 100—62.

Упругими элементами датчика являются четыре силоизмерительных столбика 4 с наклеенными фольговыми тензометрами 2. Столбики изготавливаются из стали 40Х и закалываются до твердости 45HRC. Столбики крепятся к основанию 1. Измеряемая нагрузка передается на столбики через подушку 11 и сферическую опору 5. Крышка 10 и гайка 9 крепятся на резьбе соответственно к корпусу 3 и подушке и через кольца 7 и 8 прижимают мембрану 6 к выступам корпуса и подушки, обеспечивая герметичность датчика. При предельной статической нагрузке на крюке 300 Т (2940 кН) и оснастке талевой системы 6×7 нагрузка, действующая на кронблок КБНД7-300, равна 350 Т (3430 кН) и напряжение в столбиках $\sigma_{ст} = 41,7 \text{ кг/мм}^2$ (400 н/мм^2). Максимально допустимая нагрузка на кронблок составляет 440 Т (4300 кН), что соответствует напряжению в столбиках $51,5 \text{ кг/мм}^2$ (505 н/мм^2). Так как предел пропорциональности стали 40Х, закаленной до 45HRC, равен 80 кг/мм^2 , то указанная перегрузка датчиков вполне допустима.

На столбики наклеены фольговые тензометры $r_1 - r_{16}$ типа ФКП-10-100 с базой 10 мм, соединенные по мостовой схеме (рис. 41).

Термочувствительное сопротивление r_t служит для температурной стабилизации нуля в диапазоне от -40 до $+50^\circ\text{C}$. С помощью стабильного сопротивления r_0 осуществляется уравнивание моста. Сопротивления r_t и $R_{ш}$ подгоняются соответственно чувствительность датчиков и входное сопротивление моста. Сопротивление r_t служит для температурной компенсации чувстви-

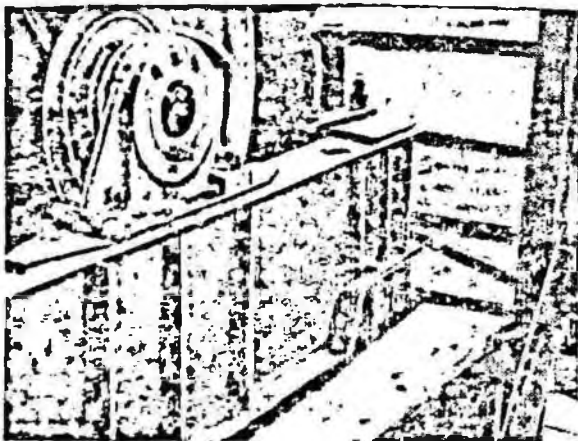


Рис. 39. Кронблок КБНД7-300 с датчиками веса на буровой.

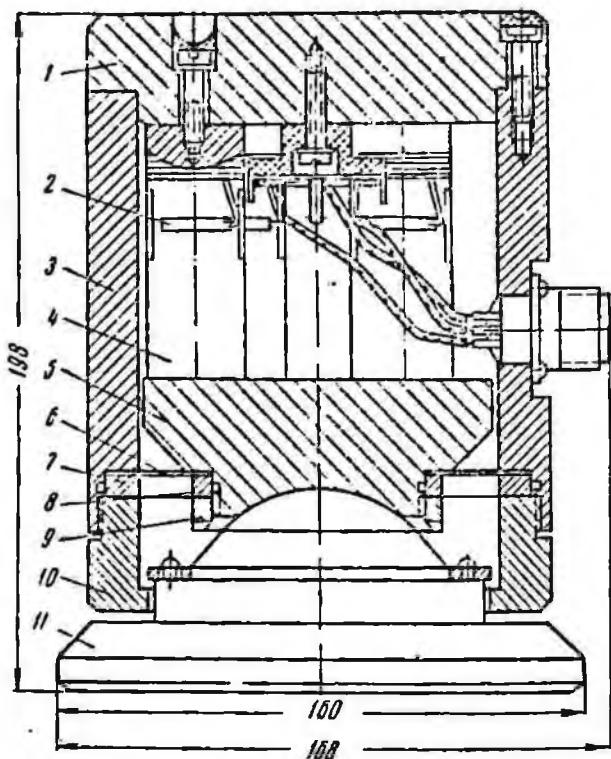


Рис. 40. Тензометрический датчик измерителя веса бурового инструмента ЭИВТ-1.

тельности датчика. Необходимая стабильность датчиков обеспечивается при токе через тензометры не более 50 мА. Выходное напряжение четырех параллельно соединенных датчиков при предельном весе бурового инструмента, равном 300 Т (2940 кН), составляет 70 мВ.

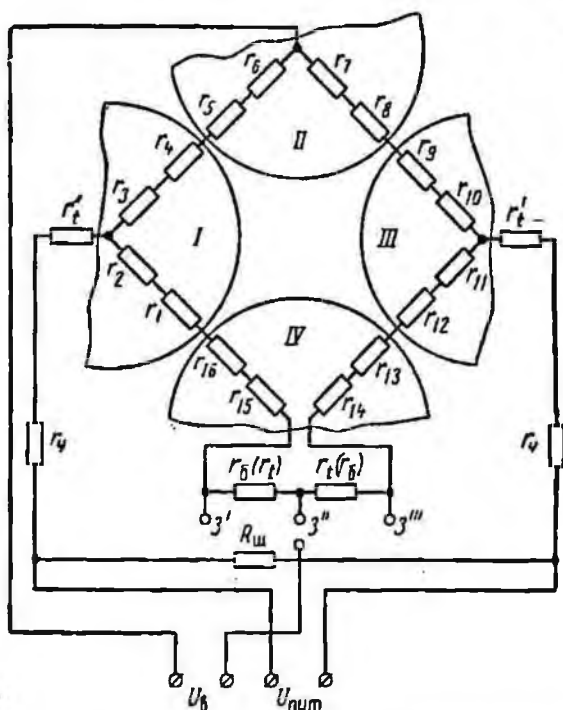


Рис. 41. Принципиальная электрическая схема тензометрического датчика.

Поскольку тензометры являются чисто активными элементами, то выходное напряжение датчиков не зависит от частоты питания. Разбаланс мостовой схемы, которой соединены тензометры, линейно зависит от напряжения питания датчика, что позволяет обеспечить в широких пределах независимость показаний вторичных приборов автокомпенсационного типа от колебания напряжения питающей сети.

Для измерения выходного напряжения датчиков используются два вторичных показывающих прибора — измеритель веса и измеритель осевой нагрузки на долото, включенные параллельно. Оба прибора представля-

ют собой автоматические однокоординатные компенсаторы переменного тока. Измеритель веса имеет пределы 150 Т (1470 кН) и 300 Т (2940 кН). Для увеличения чувствительности измерителя осевой нагрузки входная часть прибора выполнена по схеме рис. 26. С помощью переключателя П компенсируются начальные напряжения датчиков и производится контроль осевой нагрузки в диапазонах 0—50 Т (0—490 кН), 40—90 Т (392—882 кН), 80—130 Т (784—1274 кН), 120—170 Т (1176—1676 кН). Порог чувствительности измерителя осевой нагрузки составляет всего 100—150 кГ.

Для регистрации веса инструмента применяется отдельный прибор — регистратор с круговой диаграммой. Перо регистратора связано со стрелкой измерителя веса с помощью сельсинов.

Разработаны также вторичные показывающие приборы с использованием в качестве компенсирующего узла тензометрической балочки [16].

Основные технические данные измерителя ЭИВТ-1

Напряжение питания переменного тока	
частоты 50 гц, а	220
Пределы измерения, Т:	
измерителя веса	150, 300
измерителя нагрузки на долото . . .	0—50, 40—90, 80—130, 120—170
Основная приведенная погрешность измерения, %	1,5
Время пробега стрелкой шкалы приборов, сек	1

В состав измерителя ЭИВМ входят четыре магнитоупругих датчика со скрещенными обмотками, два вторичных показывающих и регистрирующих прибора.

Магнитоупругие датчики рассчитаны на предельные усилия 50 Т (490 кН) и предназначены для работы с кронблоками типа УЗ-200. Упругая часть датчика (рис. 42) набрана из 180 пластин, каждая из которых содержит четыре элемента, показанных на рис. 19. Первичные и вторичные обмотки всех элементов датчиков соединены последовательно.

В качестве вторичных приборов — измерителя веса и измерителя нагрузки на долото — используются автоматические однокоординатные компенсаторы переменного тока. Входная часть приборов выполнена по схеме

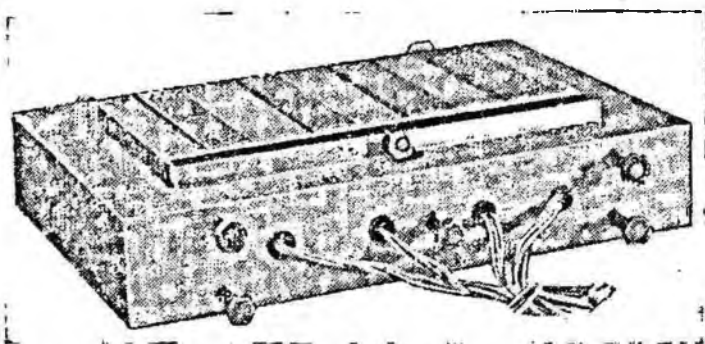


Рис. 42. Упругая часть магнитоупругого датчика измерителя веса бурового инструмента ЭИВМ.

рис. 20. Помимо этого, измеритель нагрузки на долото содержит в цепи реохорда переключатель и делитель напряжения на резисторах, включенные по схеме рис. 26.

В схемах усилителей вторичных приборов содержатся избирательные каскады с отрицательной обратной связью через двойной Т-образный фильтр. Благодаря этому обеспечивается подавление высших гармоник выходного напряжения датчиков.

В остальной схеме вторичных приборов измерителей ЭИВМ и ЭИВТ-1 идентичны.

Основные технические данные измерителя ЭИВМ

Напряжение питания переменного тока частоты 50 гц, в	220
Пределы измерения, Т:	
измерителя веса	250
измерителя нагрузки на долото . . .	0—50, 40—90, 80—130, 120—170
Основная приведенная погрешность измерения, %	2,0
Время пробега стрелкой шкалы прибора, сек	1

Измерители ИРБ-7, ПКМ-У6 и ПКМ-У8 разработаны в СКБ Министерства геологии СССР и предназначены для контроля веса инструмента и осевой нагрузки на долото для установок проходки шахтных стволов [37].

Таблица 5

Тип аппаратуры	Буровая установка	Предел измерения	
		шкала «Вес», Т	шкала «Осевая нагрузка», Т
ИРБ-7	УЗТМ-7,5	300	60
ПКМ-У6	УЗТМ-8,75	450	150
ПКМ-У8	УРТБ-6,5	150	60

Пределы измерения приведены в табл. 5.

В измерителях используются магнитоупругие датчики типа ДНС40 и ДНС63, устанавливаемые под углами рамы кронблока. В отличие от датчиков ДНС1—ДНС4 датчики ДНС40 и ДНС63 с целью сокращения габаритных размеров имеют совмещенную конструкцию активного и компенсационного преобразователя.

Технические характеристики измерителей аналогичны характеристикам измерителей ИРБ и ПКМ.

Измеритель веса бурового инструмента с силоизмерительными датчиками под углами рамы кронблока предполагается использовать при бурении на мантию земной коры по проекту «Мохоп» [56].

В Бухарестском институте нефти, газа и геологии разработан измеритель с бипараметрическим частотным датчиком, который устанавливается на полке поперечной балки кронблока и измеряет упругие деформации балки под действием веса инструмента [54].

Особенность бипараметрического силоизмерительного датчика заключается в том, что с изменением измеряемого усилия одновременно меняется как емкость, так и индуктивность колебательного контура генератора. Зависимость изменения частоты от изменения усилия близка к линейной.

Измеритель веса инструмента в крюке ЭИВТ-2 разработан в АзНИЭТИ [8, 13] и состоит из датчика веса, установленного в буровом крюке, вторичных приборов и системы подвода кабеля связи.

Для работы с датчиками (см. рис. 11) совместно с СКБ завода «Бакинский рабочий» был разработан специальный крюк типа КТ-130БРД (см. рис. 10) на базе безрезьбового крюка КТ-130БР. Упругий элемент датчи-

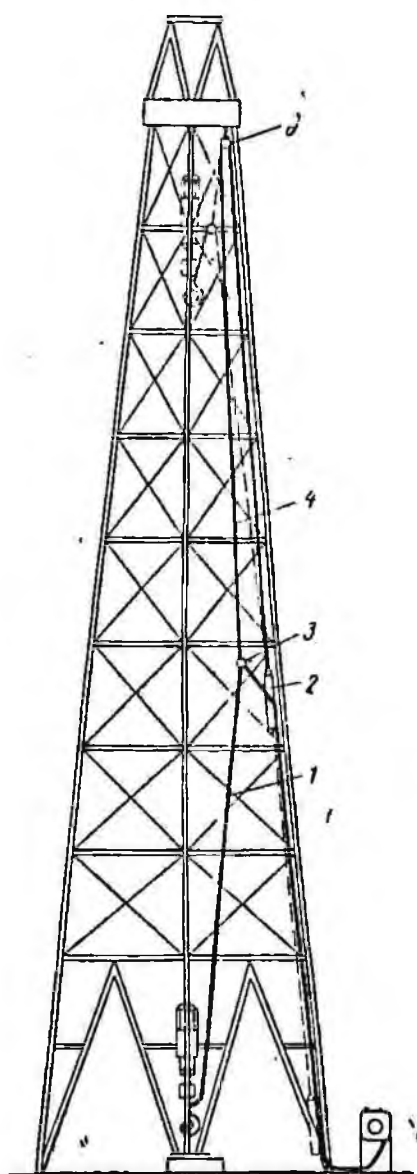


Рис. 43. Конструкция устройства, обеспечивающего натяжение соединительного кабеля измерителя веса бурового инструмента.

Таблица 5

Тип аппаратуры	Буровая установка	Предел измерения	
		шкала «Вес», Т	шкала «Осевая нагрузка», Т
ИРБ-7	УЗТМ-7,5	300	60
ПКМ-У6	УЗТМ-8,75	450	150
ПКМ-У8	УРТБ-6,5	150	60

Пределы измерения приведены в табл. 5.

В измерителях используются магнитоупругие датчики типа ДНС40 и ДНС63, устанавливаемые под углами рамы кронблока. В отличие от датчиков ДНС1—ДНС4 датчики ДНС40 и ДНС63 с целью сокращения габаритных размеров имеют совмещенную конструкцию активного и компенсационного преобразователя.

Технические характеристики измерителей аналогичны характеристикам измерителей ИРБ и ПКМ.

Измеритель веса бурового инструмента с силовыми датчиками под углами рамы кронблока предполагается использовать при бурении на мантию земной коры по проекту «Мохоп» [56].

В Бухарестском институте нефти, газа и геологии разработан измеритель с бипараметрическим частотным датчиком, который устанавливается на полке поперечной балки кронблока и измеряет упругие деформации балки под действием веса инструмента [54].

Особенность бипараметрического силового измерительного датчика заключается в том, что с изменением измеряемого усилия одновременно меняется как емкость, так и индуктивность колебательного контура генератора. Зависимость изменения частоты от изменения усилия близка к линейной.

Измеритель веса инструмента в крюке ЭИВТ-2 разработан в АЗНИЭТИ [8, 13] и состоит из датчика веса, установленного в буровом крюке, вторичных приборов и системы подвода кабеля связи.

Для работы с датчиками (см. рис. 11) совместно с СКБ завода «Бакинский рабочий» был разработан специальный крюк типа КТ-130БРД (см. рис. 10) на базе безрезьбового крюка КТ-130БР. Упругий элемент датчи-

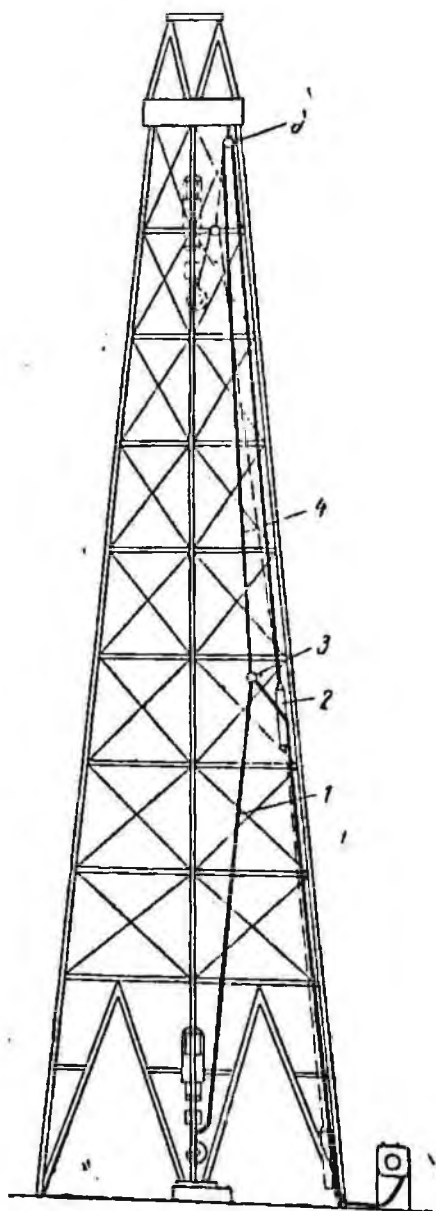


Рис. 43. Конструкция устройства, обеспечивающего натяжение соединительного кабеля измерителя веса бурового инструмента.

ка представляет собой кольцо двутаврового сечения, изготовленное из стали 40Х и закаленное до 45HRC. При предельной измеряемой нагрузке 130 Т (1274 кН) в стенке кольца возникают напряжения 20 кГ/мм² (186 н/мм²).

Для получения линейной характеристики датчика размеры кольца выбраны таким образом, чтобы средний участок стенки в месте наклейки тензометров испытывал линейную деформацию.

По обе стороны кольца равномерно по окружности на двенадцати участках наклеены 24 активных и 24 компенсационных тензометра типа ФКП-10-100. Число участков наклейки было выбрано так, чтобы погрешность измерения, превышающая 1%, вследствие перераспределения шаров в подшипнике при проворачивании ствола крюка практически не превышала 1%*.

Тензометры соединяются в мостовую схему, причем каждое плечо моста составлено из двенадцати тензометров, соединенных последовательно и параллельно.

Вторичный показывающий прибор представляет собой автоматический однокоординатный компенсатор переменного тока. Верньерная стрелка связана с основной стрелкой через повышающий редуктор с передаточным числом 1:5. Перо регистратора связано с осью показывающего прибора с помощью сельсинов.

Для предотвращения закручивания кабеля вокруг крюка во время спуско-подъемных операций разработано специальное устройство, обеспечивающее натяжение кабеля (рис. 43). Кабель 1 оттягивается подвижным роликом 3, подвешенным на ролике 5 с помощью стального каната 4 и грузика 2. Грузик перемещается внутри трубы. Так как прочность каната значительно выше, чем прочность кабеля, то исключается возможность обрыва каната в случаях соскакивания кабеля с ролика, повреждения ролика и т. п.

Основные технические данные измерителя ЭИВТ-2

Напряжение питания переменного тока частоты 50 гц, в	220
Предел измерения, Т	50; 150
Основная приведенная погрешность измерения, %	2
Время пробега стрелкой всей шкалы, сек	1

* Подробно см. раздел «Контроль веса бурового инструмента на крюке и вертлюге» настоящей работы.

КОНТРОЛЬ ВЕСА ИНСТРУМЕНТА И НАГРУЗКИ НА ДОЛОТО В ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ БУРОВЫХ УСТАНОВКАХ

В установках для геологоразведочного бурения помимо обычной системы подачи инструмента с лебедки применяется гидравлическая система подачи, обеспечивающая возможность дополнительной догрузки или разгрузки забоя осевым усилием.

Осевая нагрузка на долото в этом случае

$$Q_o = Q_n \pm Q_{\text{доп}}, \quad (43)$$

где Q_n — вес инструмента; $Q_{\text{доп}}$ — дополнительное усилие, развиваемое буровой установкой.

В СКБ Министерства геологии СССР разработан измеритель веса бурового инструмента и осевой нагрузки на долото для гидравлической системы подачи инструмента. Измеритель входит в состав аппаратуры контроля процесса бурения ИРБ-41 и ПКМЗИФ650 [22] и состоит из двух датчиков типа ДД и показывающего прибора ПКР21 автокомпенсационного типа с двумя индуктивными потенциометрами.

Датчик давления типа ДД состоит из мембранного узла, воспринимающего давление в гидросистеме подачи, и преобразователя дифференциально-трансформаторного типа, преобразующего перемещение мембраны в электрическое напряжение.

При бурении с разгрузкой регулируется давление в нижней полости гидроцилиндра. Перед началом бурения инструмент взвешивается, при этом напряжение с датчика ДД₂, измеряющего давление в нижней полости гидроцилиндра, компенсируется потенциометром ИП-В. Затем исполнительный двигатель переключают на потенциометр ИП-3, а на вход усилителя компенсатора подается напряжение от датчика ДД₂ и потенциометра. После автоматического уравнивания схемы нагрузка на долото отсчитывается по шкале потенциометра ИП-3.

При бурении с догрузкой давление подается в верхнюю полость гидроцилиндра и работает датчик ДД₁, напряжение которого находится в противофазе с датчиком ДД₂.

Основные технические данные измерителя

Напряжение питания переменного тока	
частоты 50 гц, в	127, 220
Пределы измерения, Т:	
веса инструмента	4,5; 6; 12
осевой нагрузки	1,5; 2; 2
Основная приведенная погрешность, %	2,5

АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ОСЕВОЙ НАГРУЗКИ НА ДОЛОТО ГЛУБИНЫМИ ПРИБОРАМИ

Для контроля глубинных параметров в скважине применяются следующие каналы связи: гидравлический — по промывочной жидкости, электрический — по силовому кабелю электробура, электрический беспроводный с передачей сигналов по колонне труб и электрический — по специальной проводной линии связи в трубах с электрическими и электромагнитными контактами.

КОНТРОЛЬ ОСЕВОЙ НАГРУЗКИ НА ДОЛОТО ПРИ БУРЕНИИ ТУРБОБУРОМ ПО ГИДРАВЛИЧЕСКОМУ КАНАЛУ СВЯЗИ

Передача гидравлических измерительных сигналов осуществляется следующим образом: на забое скважины устанавливается преобразователь, содержащий дроссельную заслонку, которая периодически перекрывает часть канала сечения бурильной трубы в зависимости от измеряемого параметра. При этом меняется скорость движения промывочной жидкости в трубах, что сопровождается возникновением импульса давления.

Приемное устройство, установленное на поверхности, воспринимает изменения давления промывочной жидкости и преобразует их в электрические импульсы.

Дальность передачи при помощи гидравлического канала связи определяется мощностью гидравлического импульса, создаваемого глубинным преобразователем, затуханием упругих волн в промывочной жидкости и чувствительностью приемного устройства. Дальность передачи сигналов увеличивается с уменьшением частоты и увеличением длительности импульсов.

В канале связи имеются значительные гидравлические помехи, поэтому приемное устройство снабжается фильтрами для выделения полезного сигнала.

Во ВНИИБТ разработан ряд измерительных устройств для контроля скорости вращения турбобура и

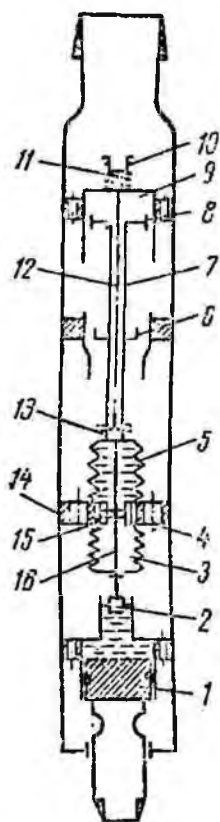


Рис. 44. Схема забойного индикатора осевой нагрузки типа ЗИН.

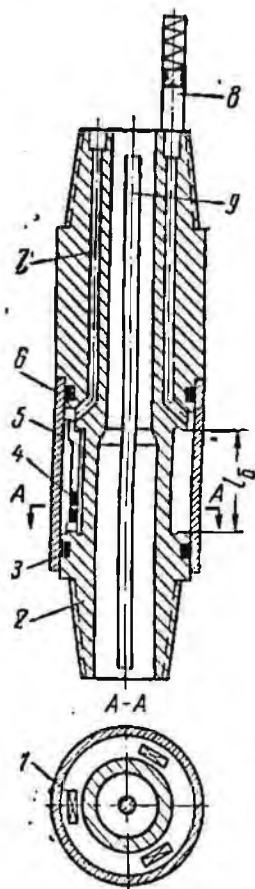


Рис. 45. Датчик осевой нагрузки.

осевой нагрузки на долото по гидравлическому каналу связи [11, 42].

Одна из конструкций забойного индикатора осевой нагрузки (ЗИН), преобразующего осевую нагрузку на

долото в частоту гидравлических импульсов, приведена на рис. 44.

Датчик давления вставляется в разрез нижней части колонны бурильных труб в скважине. Осевая нагрузка через поршни 1 и 2 передается к сильфонному измерителю расхода 14. Жидкость из камеры 3 сильфона через дроссель 4 перетекает в камеру 5. Расход жидкости через дроссель пропорционален величине осевой нагрузки.

Клапан 6, служащий для создания гидравлических импульсов, перемещается вниз — вверх вместе с полым штоком 7 и поршнем 8 с частотой, пропорциональной осевой нагрузке. Поршень 8 перемещается в цилиндре 9, в верхней части которого помещен клапан 10 с пружиной 11.

При перетекании жидкости из камеры 3 в камеру 5 верхний конец сильфона упирается в стержень 12, связанный с клапаном 10, и клапан открывается. При открытом клапане давление на обеих сторонах поршня 8 примерно одинаково, вследствие чего начальный перепад давления на клапане 6 заставляет его перемещаться вместе со штоком 7 вниз. Нижняя часть штока 7 давит на сильфон и вызывает перетекание жидкости из камеры 5 в камеру 3 через обратный клапан 15. Движение штока 7 через стержень 16 передается поршню 2.

После движения клапана 6 вниз и подачи при этом импульса давления шток 7 упирается в нижний буртик 13 стержня 12 и закрывает клапан 10. В этом случае давление на нижней стороне поршня 8 превысит давление на верхней стороне его. Разность давлений заставляет поршень 8 двигаться вместе со штоком 7 и клапаном 6 вверх. Этим заканчивается цикл измерения интервала времени протекания жидкости через дроссель в сильфоне. Затем весь описанный цикл повторяется. По интервалу времени между принятыми на поверхности импульсами давления судят о величине осевой нагрузки на долото.

КОНТРОЛЬ ОСЕВОЙ НАГРУЗКИ НА ДОЛОТО ПРИ БУРЕНИИ ЭЛЕКТРОБУРОМ

В этом случае в качестве канала связи для передачи глубинных параметров используется силовой кабель,

подводящий энергию к электробуру. Передача информации от глубинного устройства осуществляется током повышенной частоты. Обычно глубинная измерительная установка подсоединяется к каналу связи через фильтры с емкостной связью по схеме «фаза — труба».

Ряд глубинных устройств для контроля осевой нагрузки на долото разработаны в Куйбышевском НИИИП [11, 36]. В качестве упругого элемента датчика используется короткий участок специальной трубы в бурильной колонне.

Одна из конструкций датчика осевой нагрузки с индуктивными измерителями упругой деформации, расположенными снаружи упругого элемента, показана на рис. 45.

Датчик имеет упругий элемент 2 с присоединительными резьбами на концах и с утонченной средней частью l_0 , на торцевых поверхностях которой крепятся индуктивные преобразователи малых перемещений. Магнитопровод 4 с обмотками крепится на кронштейне 5 к верхнему концу базового участка, а сердечник датчика 1 — к нижнему торцу. Кронштейн изготовлен из того же материала, что и упругий элемент, чем достигается компенсация погрешности при температурных деформациях элемента. Упругая деформация элемента приводит к изменению зазора магнитной цепи датчика. Чтобы исключить влияние изгибающих усилий на измерение осевой нагрузки, устанавливают три одинаковых преобразователя, стоящих друг от друга по окружности на 120° . Для защиты датчика от механических повреждений используется защитный стакан 6. Полость между стаканом и упругим элементом заполнена маслом, на которое передается давление промывочной жидкости через лубрикатор 8. Стакан уплотняется на упругом элементе при помощи резиновых колец 3. Соединительные провода от преобразователей перемещения выводятся через канал 7, уплотняющие вводы и подсоединяются к контейнеру с телеметрической аппаратурой. Кабель электробура 9 проходит в центральном канале упругого элемента. На концы этого элемента наворачиваются переводники, посредством которых он соединяется с бурильной колонной.

Упругий элемент датчика выполнен из дюралюминиевого сплава Д16Т, подвергнутого термообработке.

Гистерезис характеристики не превышает 2%, максимальное допустимое усилие на элемент составляет 150 Т (1470 кн).

Для измерения деформации упругого элемента используются индуктивные измерители малых перемещений, выполненные на П-образном магнитопроводе из феррита Ф-600 с воздушным зазором до 0,5 мм. Перемещение сердечника, вызванное деформацией упругого элемента, приводит к изменению суммарной индуктивности трех преобразователей в пределах 6,9—9,24 мГн.

Датчик входит в состав глубинного устройства контроля осевой нагрузки типа ГИУ-ОН и в систему автоконтроля комплекса глубинных параметров САКГП-63.

В глубинном устройстве ГИУ-ОН, разработанном в Куйбышевском НИИ НП [36, 40], для передачи показаний на поверхность используется частотная телеизмерительная система. Индуктивные преобразователи подключены к колебательному контуру генератора. При изменении осевой нагрузки в пределах 0—50 Т (0—490 кн) частота генератора уменьшается с 30 до 25 кГц.

Наземное приемное устройство состоит из присоединительного фильтра, широкополосного усилителя, генератора опорной частоты 30 кГц, смесителя, электронного частотомера, указывающего и регистрирующего приборов. Разность частот опорного генератора и измерительного сигнала, полученная после смесителя, измеряется частотомером. В качестве регистрирующего прибора используется миллиамперметр Н-370 или потенциометр ЭПД-12.

Частотная телеметрическая система ГИУ-ОН позволяет контролировать быстро изменяющиеся режимы бурения, в частности динамические нагрузки на долото, поэтому ее целесообразно использовать для исследовательских целей.

Во НИПИнефтехимавтомат совместно с АЗИНЕФТЕХИМ им. М. Азизбекова и Куйбышевским НИИ НП разработана система автоматического контроля комплекса глубинных параметров при электробурении САКГП-63 [40].

Система автоконтроля позволяет контролировать нагрузку на долото, кривизну скважины, направление отклонителя, температуру на забое и напряжение на зажимах электродвигателя.

В системе применено временное разделение передаваемых сигналов поочередным подключением цепей датчиков. Составной частью системы с таким разделением сигналов является коммутатор (переключатель). Коммутатор позволяет сделать ряд элементов схемы общими для всех каналов, что существенно упрощает схему передающего устройства.

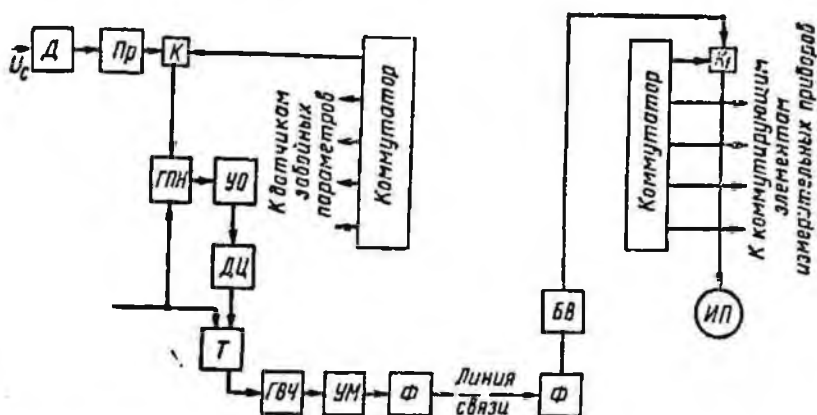


Рис. 46. Упрощенная блок-схема преобразования и передачи показаний датчика осевой нагрузки в системе САКПП-63.

В разработанной системе автоконтроля для передачи сигналов используется короткопериодная время-импульсная модуляция. Максимальная длительность измерительного импульса в системе принята равной длительности одного периода напряжения питающей сети (20 мсек).

В датчике осевой нагрузки применен упругий чувствительный элемент из сплава Д16Т с преобразователями его деформации в электрическое напряжение. В отличие от устройства ГИУ-ОН здесь применены дифференциальные индуктивные датчики. Каждый датчик состоит из двух половин магнитопровода П-образной формы из стали 3310, четырех катушек и сердечника из сплошной стали. Магнитопроводы крепятся к кронштейнам, установленным на нижнем и верхнем выступах упругого элемента. Датчики размещены по окружности через 120° . Обмотки возбуждения и измерительные обмотки всех

трех датчиков соединены последовательно. Нелинейность характеристики не превышает 2%.

Упрощенная блок-схема преобразования и передачи информации о нагрузке на долото показана на рис. 46.

Выходное напряжение датчика D поступает на вход первичного преобразователя Pr , в котором оно выпрямляется и фильтруется. Выходное напряжение преобразователя с помощью коммутирующего элемента K , управляемого сигналом с соответствующей выходной шины коммутатора, подключается к время-импульсному преобразователю «напряжение — время», построенного по принципу динамической компенсации. Преобразователь состоит из генератора эталонного пилообразного напряжения ($ГПН$), которое сравнивается с напряжением входного сигнала U_c , и схемы сравнения, в качестве которой используется усилитель-ограничитель $УО$, дифференцирующая цепочка $ДЦ$ и триггер T . Длительность отрицательного импульса t_n на выходе триггера пропорциональна измеряемому напряжению на выходе преобразователя.

Измерительный импульс поступает на вход генератора $ГВЧ$, который служит для преобразования измерительных прямоугольных импульсов в такие же по длительности импульсы, заполненные переменным напряжением высокой частоты. В качестве генератора использован мультивибратор с трансформаторной нагрузкой. Частота генератора 54 кГц. Выходное напряжение генератора после усилителя $УМ$ через разделительный фильтр F поступает в канал связи.

Сигнал из канала связи через разделительный фильтр F поступает в блок выделения $БВ$, где происходит демодуляция, т. е. превращение выделенных высокочастотных посылок в прямоугольные импульсы постоянного напряжения, соответствующие первоначальным измерительным импульсам. С выхода блока выделения измерительные импульсы с помощью коммутатора поступают на соответствующий измерительный прибор $ИП$, в котором происходит осреднение импульсов, т. е. получение отклонения подвижной части прибора, пропорциональное длительности t_n измерительных импульсов.

Правильную работу всей телензимерительной системы с временным разделением каналов можно обеспечить лишь в том случае, если коммутаторы приемного и пе-

редающего приборов работают синхронно и синфазно. Синхронизация и синфазирование работы коммутаторов осуществляется путем посылки в канал связи служебных вспомогательных импульсов, получаемых от вспомогательных устройств, не показанных на блок-схеме.

В настоящее время на основе системы САКГП-63 разработана модернизированная система САКГП-64. В этой системе устройство измерения осевой нагрузки на долото имеет то же выполнение, что и в системе САКГП-63.

Подробные сведения о глубинных устройствах автоконтроля осевой нагрузки на долото с использованием различных каналов связи приведены в [11, 40].

ЛИТЕРАТУРА

1. Агейкин Д. И. и др. Датчики контроля и регулирования, М., изд-во «Машиностроение», 1965.
2. Али-Заде Г. А. и др. Телен измерение глубинных параметров в нефтяных скважинах. Тр. межвузовского совещания по вопросам новой техники в нефтяной промышленности, т. 1, М., Гостехиздат, 1958.
3. Атабеков Г. И. и др. Теоретические основы электротехники. Ч. I и II. М., изд-во «Энергия», 1966.
4. Ахундов Ф. М. Устройство для измерения усилий и давлений. Авт. свид. № 53311 от 15 января 1936 г.
5. Баженов А. С. Гидравлический индикатор ГИВ6. «Машины и нефтяное оборудование», 1966, № 3.
6. Бугусов И. В. Цифровые устройства автоматического измерения, контроля и управления. М., изд-во «Недра», 1964.
7. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М., изд-во «Наука», 1964.
8. Верткин М. П. Бурильные крюки и крюкоблоки. Баку, Госиздат Азерб.ССР, 1965.
9. Ворожбитов М. И., Пульченко В. И. Исследование динамики нагрузок при спуске и подъеме бурильных обсадных колонн. «Машины и нефтяное оборудование», 1967, № 3.
10. Временные правила по бурению глубоких нефтяных и газовых скважин в осложненных условиях. Баку, АЗИНТИ, 1963.
11. Грачев Ю. В., Варламов В. П. Автоматический контроль в скважинах при бурении и эксплуатации. М., изд-во «Недра», 1968.
12. Гробштейн А. С., Павлов В. И. Способ измерения веса бурового инструмента. Авт. свид. № 163983 от 31.8. 1962 г. Бюлл. изобретений, 1964 г., № 14.
13. Гробштейн А. С. и др. Электрический измеритель веса бурового инструмента. «Азербайджанское нефтяное хозяйство», 1965, № 1.
14. Гробштейн А. С. и др. Измеритель веса бурового инстру-

румента. Авт. свид. № 161309 от 6.8. 1962 г. Бюлл. изобретений, 1964 г., № 7.

15. Гробштейн А. С. Бесконтактный потенциометр, как вторичный прибор измерителя веса бурового инструмента. «За технический прогресс», 1964, № 3.

16. Гробштейн А. С. Использование магнитоупругих датчиков для измерения веса бурового инструмента. Изв. вузов «Нефть и газ», 1965, № 6.

17. Гитис Э. И. Преобразователи информации для электронных цифровых вычислительных устройств. М., Госэнергоиздат, 1961.

18. Гуманюк М. Н. Магнитоупругие датчики в автоматике. Киев, изд-во «Техника», 1965.

19. Зозуля П. И. и др. Аппаратура телеконтроля буровых скважин. Сб. «Приборы и средства автоматизации», 1968, № 2.

20. Иванова И. И. О погрешностях магнитоупругих преобразователей. Тр. ЛПИ, № 184, изд. ЛПИ, 1956.

21. Инженерная психология в приборостроении. Сб. ЦНИИинформации технико-экономических исследований приборостроения, средств автоматизации и систем управления, 1967.

22. Измерительная аппаратура и средства автоматизации процессов бурения. М., изд. ГОСИНТИ, 1962.

23. Коваль В. А. и др. Исследование тензометрических силонизмерителей. «Приборостроение», 1962, № 11.

24. Кольцов А. А., Коловертнев Ю. Д. Электрический индикатор для измерения веса бурового инструмента и осевой нагрузки на долото. Изв. вузов «Нефть и газ», 1968, № 5.

25. Контроль и автоматизация процессов бурения скважин, добычи, транспорта и хранения нефти и газа. Справочник, кн. 3. М., Гостоптехиздат, 1963.

26. Котченко Ф. Ф. Следящие системы автоматических компенсаторов. М., изд-во «Недра», 1965.

27. Кощеев А. А. Телеконтроль бурения — основа новых форм организации производства буровых работ. «Машины и нефтяное оборудование», 1968, № 7.

28. Кузнецов Г. М. и др. Устройство для измерения веса бурового инструмента. Авт. свид. № 215163 от 9.9. 1966 г. Бюлл. изобретений, 1968, № 13.

29. Куликовский Л. Ф., Мелик-Шахназаров А. М. Дистанционное измерение натяжения канатов и тросов. «Автоматика и телемеханика», 1950, № 6.

30. Куликовский Л. Ф. Электрические измерительные приборы для контроля процесса бурения. М., Гостоптехиздат, 1952.

31. Куликовский Л. Ф. и др. Прибор для регистрации

48. Туричин А. М. Электрические измерения неэлектрических величин. М., Госэнергоиздат, 1964.

49. Эскип М. Г. О поддержании параметров бурения автоматическими регуляторами подачи долота. «Нефтяное хозяйство», 1965, № 6.

50. Электрооборудование буровых установок. Каталог, изд. Информстандартэлектро, М., 1967.

51. Dahle O. Heavy Industry gest a new cell, ISA Journal, 1959, 6, N 8.

52. Dahle O., Dahle B. Means for measuring mechanical forces and their time derivatives. Patent USA, N 2.895.332, cl. 73—141, 1959.

53. Martin Decker Corp. The world's principal manufacturer of oil well drilling instrumentation. Long. Beach California, 1967.

54. Racoveanu N., Joachim Gr., Dumitrescu I. Aparat pentru măsurarea sarcinii la cirligul macaralei de foraj, Buletinul institutului de petrol, gaze si geologie, Vol. VII, Bucuresti, 1961.

55. Scott L. B. Swivel bait adapter weight sensing device. Patent USA, N 2.645.120, cl. 73—141, 1953.

56. What Mohole has contributed the date. „World oil”, 1966, 163, N 1.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	3
Методы измерения веса бурового инструмента и осевой нагрузки на долото	5
Измерение веса бурового инструмента по натяжению неподвижного конца талевого каната	5
Недостатки метода измерения по натяжению неподвижного конца талевого каната	9
Непосредственные измерения веса бурового инструмента на буровом крюке или вертлюге	16
Измерение веса бурового инструмента по усилиям, передаваемым кронблоком на подкронблочные балки	23
Датчики для контроля веса бурового инструмента	30
Тензометрические датчики	30
Индуктивные и трансформаторные датчики	33
Магнитоупругие датчики	36
Вторичные приборы измерителей веса бурового инструмента	40
Синхронно-следящие системы с сельсинами	41
Автокомпенсационные системы	45
Верньерные вторичные приборы для измерения осевой нагрузки на долото	48
Цифровые приборы для измерения осевой нагрузки на долото	52
Быстродействие вторичных электронных приборов	53
Действие электрических помех на работу вторичных приборов	56
Телеконтроль процесса бурения скважин	61
Измерители веса бурового инструмента и осевой нагрузки на долото	63
Гидравлические индикаторы веса бурового инструмента	63
Электрические индикаторы веса бурового инструмента на неподвижном конце каната	68
Электрические измерители веса инструмента на кронблоке и в крюке	80

Контроль веса инструмента и нагрузки на долото в геологоразведочных буровых установках	89
Автоматический контроль осевой нагрузки на долото глубинными приборами	90
Контроль осевой нагрузки на долото при бурении турбобуром по гидравлическому каналу связи	90
Контроль осевой нагрузки на долото при бурении электробуром	92
Литература	98

*Мелик-Шахназаров Александр Михайлович,
Гробштейн Абрам Соломонович*

ПРИБОРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВЕСА БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА

Редактор издательства *Латай А. Б.* Техн. редактор *Полякова Т. И.*
Корректор *Ссколова Н. А.*

Сдано в набор 2/XII-1970 г.	Подписано в печать 25/II-1971 г.	T-01822	
Формат 84×108 ¹ / ₃₂ .	Печ. л. 3,25	Усл. печ. л. 5,46	Уч.-изд. л. 5,15
Бумага № 1	Индекс 1—4—1	Заказ 2411/272—8	
	Тираж 1700 экз.	Цена 52 коп.	

Издательство «Недра». Москва, К-12, Третьяковский проезд, д. 1/19.
Типография № 32 Главполиграфпрома. Москва, Цветной бульвар, 26



52 коп.

НЕДРА — 1971