Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LIII, вып. 1, 1966 г.

УДК 622.233.2

ШАХТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ ДОБЫЧНЫХ МАШИН

Я. П. Гринберг, М. Д. Коломийцев

Задачи шахтных испытаний. При шахтных исследованиях забойных машин необходимо определять конструктивные и эксплуатационные особенности работы в данных горно-геологических условиях, рациональный режим работы, устойчивость машины, ее производительность, влияние участковой сети на работу машины. Для установления этих характеристик нужно фиксировать мгновенные и средние значения следующих величин.

1. Потребляемую двигателем машины активную мощность. Ею обусловлен общий анализ работы машины в данных горно-геологических условиях, выбор ее рационального режима работы, определение производительности машины.

2. Напряжение на зажимах забойных двигателей, которое является функцией общеучастковой нагрузки. Момент вращения двигателя пропорционален квадрату напряжения. Поэтому синхронно с регистрацией других параметров необходимо регистрировать напряжение, что позволяет определить фактический момент вращения двигателя и качественную характеристику (жесткость) участковой сети.

3. Потребляемый двигателем ток характеризует механическую и тепловую нагрузки машины. Механические нагрузки определяются моментом вращения, или усилием. Практически определить эти величины в шахтных условиях сложно. Момент вращения на валу двигателя можно достаточно точно установить по мощности, потребляемой из сети, напряжению, току и механической характеристике двигателя. Зная мгновенное значение момента вращения двигателя, можно найти усилие резания, выбрать рациональный режим работы машины и определить ее устойчивость.

Потребляемый двигателем ток характеризует частоту приложения нагрузки, ее величину и позволяет определить нагрев двигателя. Действительно, в общем случае мощность, идущая на нагрев,

$$\Delta P = \Delta P_{\text{пост}} + \Delta P_{\text{пер}},$$

где $\Delta P_{\text{пост}}$ — постоянные потери в двигателе; $\Delta P_{\text{пер}}$ — переменные потери,

$$\Delta P_{\text{пер}} = \Delta P_{\text{пер. н}} \left(\frac{I}{I_{\text{н}}}\right)^2;$$

$\Delta P_{\text{пер. н}}$ — переменные потери в двигателе при длительном режиме работы; $I_{\text{н}}$ — номинальный ток двигателя при длительном режиме работы.

Так, для двигателя типа ЭДК-4-1, применяемого на врубовых машинах и комбайнах, $\Delta P_{\text{пост}} = 2{,}0$ *квт*; $\Delta P_{\text{пер. н}} = 1{,}5$ *квт*; $I_{\text{н}} = 83$ *а*. Тогда

$$\Delta P = 2{,}0 + 1{,}5\left(\frac{I}{83}\right)^2, \text{ квт}.$$

Сравнением фактических потерь с допустимыми рассчитывается возможная производительность машины.

4. Усилия на канате или тяговой цепи (усилия подачи) характеризуют режим и динамику работы машины, крепость разрушаемого пласта, скорость подачи машины и частоту пульсации нагрузки.

5. Скорость перемещения (скорость подачи) определяет производительность машины, нагрузку, режим работы, динамику, т. е. все основные параметры.

Перечисленные пять основных параметров работы машины, измеряющиеся непрерывно в процессе работы, позволяют найти основные характеристики комбайна или врубовой машины. Определение мощности, тока, напряжения, усилия и скорости подачи не требует встройки в машину специальных датчиков и изменения условий работы и может быть осуществлено непосредственно на добычном участке.

Особенности замеров в шахтных условиях. При разработке методики шахтных испытаний, комплектации аппаратуры для замеров указанных выше параметров забойных машин и проведении самих экспериментов необходимо учитывать: 1) колебания напряжения на зажимах двигателя («мягкость» шахтной сети); 2) специфические условия проведения замеров; 3) особенности режима работы врубовых машин и комбайнов.

Резкое и значительное колебание напряжения в участковой сети затрудняют, а иногда и исключают установку измерительной аппаратуры на штреке у магнитного пускателя вследствие потери напряжения в гибком кабеле. Как известно, при включении мощных двигателей напряжение на зажимах работающей машины резко меняется. Перераспределение потерь вызывает изменение и потребляемой мощности. Рассчитывают эти потери при помощи системы нелинейных алгебраических и дифференциальных уравнений, что представляет довольно трудоемкую задачу, а недостаточная точность решения этих уравнений существенно снижает достоверность замеров. При работе в лаве только исследуемого комбайна введение поправки на потерю напряжения также находят решением сложных уравнений *. Это значительно усложняет обработку диаграмм напряжения и мощности.

Установка измерительных приборов у пускателя требует прокладки к датчикам скорости и усилия подачи (а при необходимости и к другим датчикам), установленным на комбайне, длинных коммутирующих кабелей с сопротивлениями, соизмеримыми сопротивлениям шлейфов. Кроме того, необходима специальная сигнализация между машиной и замерной станцией.

Поэтому целесообразнее устанавливать замерную станцию в лаве непосредственно у объекта исследований. Однако пыль, грязь, темнота, шум работающей машины, стесненность призайбойного пространства, неровности почвы, непрерывное перемещение объекта исследования, опасность взрыва пыли и газа осложняют замеры и требуют специальных приспособлений. В лаве необходим замерный стол с регистрирующими приборами. Ширина и высота его должны соответствовать размерам призабой-

---

* В. П. Муравьев. Влияние отклонения напряжения у асинхронных двигателей на потерю напряжения. Сб. научн. тр. Кемеровского горного ин-та, № 5, 1964.

ного пространства. Независимо от угла падения пласта расположение приборов должно быть горизонтальным. Стол оборудуется освещением и обеспечивает защиту приборов от механических повреждений, грязи и влаги.

На шахтах, опасных по газу и пыли, замерный стол должен обязательно располагаться за комбайном или врубовой машиной, на свежей струе и иметь вентилятор частичного проветривания (типа СВМ-4М или аналогичный), анализатор метана (типа АМТ) и фотопылемер (типа Ф-1). Появление опасных концентраций метана или пыли в зоне замерного стола сигнализируется анализатором метана и фотопылемером — автоматически включается вентилятор. Если концентрация метана или пыли становится аварийной, замерная станция автоматически отключается.

Как видно из осциллограмм (рис. 1), снятых осциллографом Н-700, частота пульсации тока и мощности в среднем 5—8 *гц*, а скорость подачи характеризуется еще большей пульсацией. Мгновенные значения этих величин колеблются в широких пределах. Пульсация нагрузки и скорости подачи с частотой, превышающей 5—8 *гц*, наблюдается и при разрушении однородных пород. Это объясняется наличием упругого звена в подающей части (каната) и, следовательно, неравномерной скоростью подачи, а также пульсирующими значениями усилий резания и подачи, действующими на каждый резец. Воздействие на исполнительный орган машины случайных кратковременных нагрузок еще более увеличивает амплитудные и частотные колебания измеряемых величин.

Таким образом, при замерах целесообразно руководствоваться следующим.

1. Скорость лентопротяжного механизма должна быть не менее 20—30 *мм/сек*, а собственная частота регистрирующего прибора не менее 20 *гц*.

2. Измерение величины необходимо записывать на одну ленту (фотобумагу), с рабочей шириной не менее 100 *мм*.

3. Масштаб регистрируемых величин должен быть максимально возможным. Это позволит уменьшить погрешность при записи максимальных и минимальных значений. Так, при регистрации тока, потребляемого двигателями типа ЭДК (ЭДКО, двигатели, устанавливаемые на врубовые машины и комбайны), масштаб должен быть не менее 30—40 *а/см*. Вследствие «мягкости» участковой сети пусковые значения тока и мощности для двигателей этого типа не превышают обычно 400 *а* и 150 *квт*.

4. Для построения кривой силовой или скоростной характеристики необходимо сделать не менее 5—7 замеров.

5. Одновременно с инструментальными методами регистрации измеряемых величин необходимы визуальные наблюдения за работой машины, которые фиксируются в рабочем журнале.

Приборы для регистрации исследуемых параметров. Как указано выше, в процессе исследований необходимо регистрировать как средние, так и мгновенные значения параметров работы машины.

Серийные самопишущие приборы типа Н-340, Н-370 с собственным временем успокоения подвижной системы 0,5—1 *сек* дают при этих измерениях значительные погрешности как средних, так и мгновенных значений, если частота следования измеряемых сигналов f превышает 0,8 *гц*. Проверка этих приборов в лабораториях Ленинградского горного института показала, что при записи средних значений тока $I_{ср}$ погрешности достигают 20%. Мгновенные значения сигналов по мере увеличения частоты от 0,8 *гц* записываются со все возрастающей погрешностью, и при частоте свыше 3 *гц* прибор практически записывает только среднюю величину сигнала. На рис. 2, в левой части графиков, представлены кривые фактического изменения тока I. В правой части графиков те же кривые,

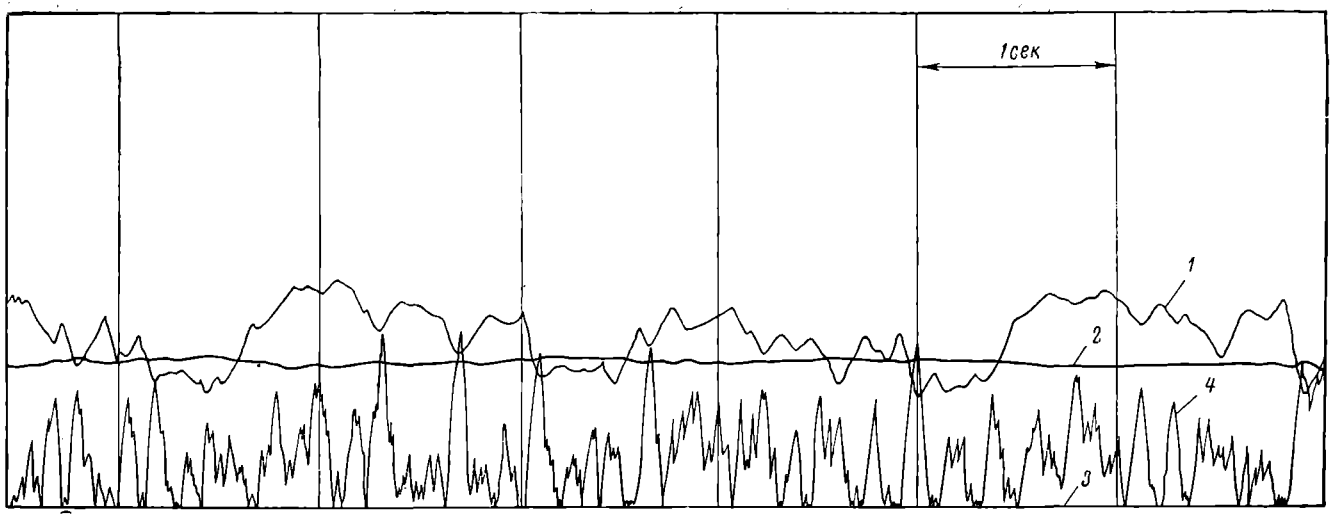


Рис. 1. Осциллограмма нагрузок на врубовую машину:

1 — потребляемая мощность; *2* — кривая напряжения; *3* — нулевая линия кривых напряжения и скорости подачи; *4* — кривая скорости подачи.

записанные приборами при различной частоте следования сигналов $f = \frac{1}{T}$ (T — суммарное время включения). Как видно из рисунка, заданное среднее значение тока $I_{ср.\,зад}$ больше регистрируемого приборами $I_{ср.\,р}$ при любых соотношениях $\frac{t_и}{T}$ ($t_и$ — время следования импульса сигнала).

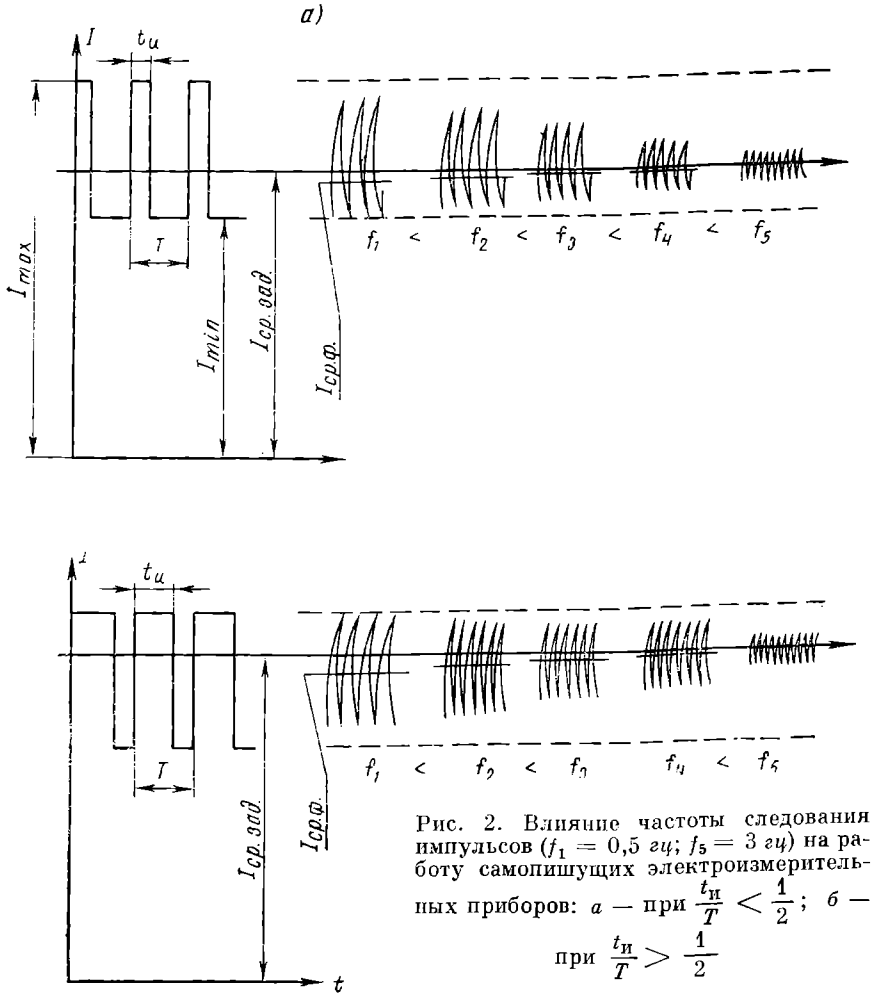


Рис. 2. Влияние частоты следования импульсов ($f_1 = 0{,}5$ *гц*; $f_5 = 3$ *гц*) на работу самопишущих электроизмерительных приборов: *а* — при $\frac{t_и}{T} < \frac{1}{2}$; *б* — при $\frac{t_и}{T} > \frac{1}{2}$

Таким образом, приборы типа Н-340, Н-370 вообще нельзя использовать для регистрации нагрузок, меняющихся со значительной частотой. Для записи параметров работы горных машин необходимо использовать малоинерционные приборы. Наиболее соответствующими для данных целей являются осциллографы. Но обработка малоформатной пленки осциллографов типа МПО-2 и Н-102 трудоемка. Увеличение ее может вносить дополнительные погрешности, так как толщина увеличенных линий может оказаться соизмеримой с масштабами записываемых процессов.

Наиболее приемлемы осциллографы типа Н-104, Н-105, Н-700, которые регистрируют процессы на фотобумагу шириной 120 *мм*. Масштабы записей можно выбрать такими же, как и у приборов Н-340, Н-370,

а обработка осциллограмм такой ширины не отличается от обработки диаграмм самопишущих приборов. Правда, у осциллографов типа Н-104, Н-105, Н-700 нет каналов для непосредственной записи потребляемой мощности. Однако завод «Виброприбор» выпускает прибор типа П-004, преобразующий регистрируемую мощность в сигналы постоянного тока. При использовании П-004 все величины можно регистрировать в виде сплошных линий.

Датчики скорости и усилия подачи. Для записи на ленту осциллографа мгновенных значений скорости перемещения машины (скорости подачи) и усилия подачи (усилия в тяговом органе) необходимы датчики, преобразующие механические сигналы в электрические.

Датчики скорости подачи (индуктивные, индукционные и др.) обладают высокой точностью измерения, но сложны в изготовлении и настройке, требуют обычно стабилизированного питания, имеют ограниченную длину рабочего хода (порядка 30 *см*).

Для измерения мгновенных значений скорости подачи врубовых машин и комбайнов целесообразно использовать тахогенератор. В Ленинградском горном институте сконструирован датчик скорости подачи с тахогенератором. В течение двух лет он успешно использовался для записи мгновенных значений скорости подачи врубовых машин. Он представляет собой тележку, жестко связанную с машиной. Через две пары передач вращение передается валу тахогенератора типа ЭТ. Характеристика тахогенератора линейна, а постоянная времени его меньше 0,01 *сек*. При весе датчика порядка 40 *кг* и передаточном числе редуктора 39,2, ведущие колеса, имеющие накатку, не проскальзывают. Погрешность датчика за счет люфтов в зубчатой передаче весьма мала, так как движение не реверсивное, а небольшой маховой момент якоря тахогенератора и увеличенное сопротивление трению не позволяют якорю проворачиваться по инерции при резкой остановке ведущих колес. Конструкция прибора проста, не связана с какой-либо дополнительной аппаратурой. Прибор обеспечивает непрерывную регистрацию скорости подачи машины практически по всей длине лавы. При работе датчика в шахте сигналы (скорость подачи) регистрировались непосредственно осциллографом Н-700 (рис. 1, кривая 4).

Датчики усилия подачи должны быть рассчитаны на замер нагрузки от 0 до 15 *Т*, или от 0 до 8 *Т*, при расположении датчика в одной из ветвей троса, перекинутого через блок. Это обусловлено тем, что натяжение тягового органа современных врубовых машин и комбайнов достигает 15 *Т*

В качестве датчиков усилий подачи можно использовать тензометрические установки, гидравлические динамометры с пьезодатчиком или со встроенным потенциометром или самопишущим манометром. Тензометрические установки, наряду с известными преимуществами, при использовании в шахте приобретают определенные недостатки. Практически тензометрические датчики усилий имеют ограниченный диапазон замеряемых нагрузок (от 1—3 *т*; от 5—8 *т* и т. д.), который в условиях шахт, где натяжение каната колеблется в более широких пределах, неизбежно приводит к искажению показаний. Применение датчика в забое шахты затрудняется из-за его высокой чувствительности к механическим воздействиям и необходимости иметь усилитель и стабилизатор питания.

Гидравлические динамометры, как известно, малоинерционны и могут регистрировать усилия в широких пределах. При экспериментальных работах в Ленинградском горном институте применен датчик силы с использованием гидравлических динамометров, производящих запись карандашом на бумагу (конструкция механических мастерских Ленинградского сельскохозяйственного института). В механическую часть динамометра встроен потенциометр, который выдает сигнал, пропорциональ-

ный усилию. Однако это увеличило сопротивления в механической записывающей части гидродинамометра, что отразилось на инерционности прибора в целом. Отметим, что в настоящее время датчиков усилий, пригодных для замера натяжения тяговых органов забойных машин, нет.

Замерная станция. Для замеров на минимальном расстоянии от машины изготовлена замерная станция на колесах. Она представляет собой стол-ящик, перемещаемый за работающей машиной и расположенный от нее на величину растяжки каната, около 25 *м*. В замерной станции смонтированы: осциллограф Н-700; блок питания осциллографа; преобразователи мощности, напряжения, тока, предназначенные для записи указанных величин сплошной линией; преобразователь мощности типа

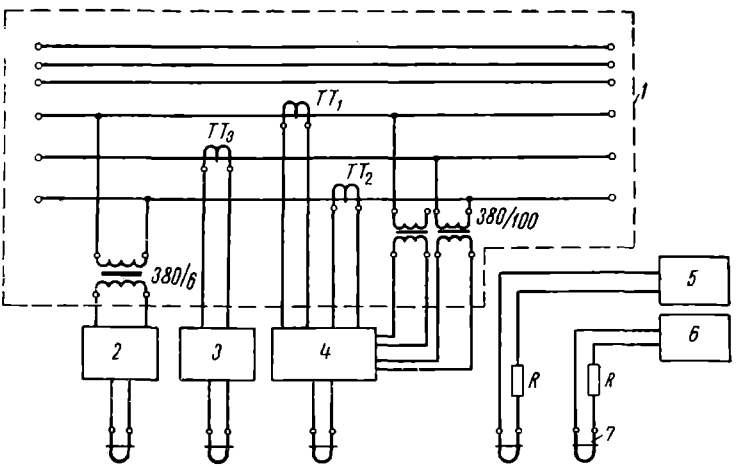


Рис. 3. Схема электрических соединений с использованием осциллографа Н-700:

1 — блок подключения; *2* — преобразователь напряжения; *3* — преобразователь тока; *4* — преобразователь мощности П-004; *5* — датчик скорости подачи; *6* — датчик усилия подачи; *7* — гальванометры.

П-004 завода «Виброприбор»; малогабаритные трансформаторы для питания обмоток напряжения преобразователя мощности П-004; блоки с ограничительными сопротивлениями для подключения датчиков скорости и усилия подачи; блок подключения с трансформаторами тока (рис. 3); освещение станции; комплект измерительных приборов К-50 для непосредственного наблюдения за машиной.

Для упрощения процесса подключения в замерной станции установлена розетка от штепсельной муфты врубовой машины, а на выводном отрезке кабеля подключена штепсельная муфта. Штепсельную муфту на кабеле врубовой машины вставляют в розетку на замерной станции, а на штепсельную муфту с кабелем (длиной 20 *м*) от замерной станции подключают к врубовой машине. При таком расположении замерной станции длина коммутирующих кабелей минимальна, проведение замеров упрощено. Замерная станция снабжена ящиками для хранения датчиков скорости и усилия подачи, соединительных кабелей, инструмента и т. д. Установленные во время замеров на верхней крышке ящика осциллограф и приборы защищены откидной крышкой от падения кусков породы с кровли лавы.

Выводы

1. При комплексных исследованиях горных машин в шахтных условиях достаточно регистрировать осциллографом пять основных параметров машин — ток, мощность и напряжение на зажимах двигателя, скорость и усилие подачи.

2. Для регистрации исследуемых параметров при комплексных исследованиях рекомендуются осциллографы типа Н-700 или аналогичные по конструкции Н-104, Н-105.

3. Электрические параметры — ток, напряжение и мощность — следует регистрировать в виде постоянных составляющих, полученных от преобразователей. Преобразователь мощности существует, а преобразователей тока и напряжения заводы до сих пор не выпускают.

4. Учитывая значительную пульсацию нагрузки и большие колебания их абсолютных значений, целесообразно скорость протяжки ленты осциллографа устанавливать в пределах 2—4 *см/сек*. При больших скоростях протяжки усложняется обработка ленты и теряется наглядность осциллограммы.

5. В шахтах, опасных по газу и пыли, применима измерительная аппаратура в нормальном исполнении с установкой на замерном столе вентилятора и автоматических анализаторов метана и пыли.

6. Для регистрации скорости перемещения машины (скорости подачи) следует рекомендовать датчик скорости, разработанный в Ленинградском горном институте.