Горные стационарные установки и машины.
Записки Ленинградского горного института. Л., 1988. Т.117

УДК 622.235.432.52

СИСТЕМЫ ВОДО- И ВОЗДУХОСНАБЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ РУДНИКОВ И ИХ РОЛЬ В РАСПРОСТРАНЕНИИ БЛУЖДАЮЩИХ ТОКОВ

Э.А.КУДАШЕВ, А.Ф.ДУБИНИН,
В.А.ПОПОВ, М.И.БЕРКМАН

Современная технология проведения буровзрывных работ рассчитана на эксплуатацию оборудования призабойной зоны, использующего сжатый воздух при давлении 0,5-0,6 МПа и воду при давлении 0,3 МПа. Сжатый воздух используется для работы буровых станков пневмолебедок и механизмов пневмозарядки шпуров, вода используется для орошения и пылеподавления. Подача воздуха и воды осуществляется во все забои по трубам от центральных магистралей, расположенных на откаточных горизонтах.

При значительных объемах добычи руды, осуществляемой одновременно на нескольких горизонтах, пневмо- и гидросистемы представляют чрезвычайно разветвленную сеть металлических труб, проникающую во все горные выработки. На откаточных горизонтах металлические трубы магистралей расположены в непосредственной близости от рельсов, кабелей, сборок, электродвигателей, что определяет их электрическую взаимосвязь. Так, например, на земных рудниках ПО «Апатит" трубы сетей повсеместно заземляются на ...ую для рудника шину заземления. В силу производственной необходимости трубопроводы прокладываются под рельсами электровозной откатки или над контактным проводом с напряжением 250 В. Все это обеспечивает протекание по ...убам блуждающих токов самых различных типов и свойств.

Блуждающие токи (БТ) оказывают непосредственное воздействие на металлические трубы, вызывая коррозию. Кроме того, сами трубы пневмо- и гидросетей, проникая в самые отдаленные горные выработки, переносят в призабойную зону опасные для электродетонаторов (ЭД) потенциалы блуждающих токов. Это явление приобретает особую значимость в связи с планируемым на всех горно-добывающих предприятиях переходом к электрическому способу взрывания при проведении горно-проходческих работ. Наличие опасных для ЭД значений потенциалов блуждающих токов на металлических трубах в призабойной зоне требует изучения их величин, особенностей возникновения, распространения и способов их подавления с целью безопасного ведения электровзрывных работ.

Некоторые значения квазистационных БТ представлены в табл.I. Стационарные БТ, распространяющиеся по протяженным металлическим конструкциям, достаточно подробно теоретически описаны[X].

[X] М.И.Озерной, Ю.С.Петров. Исследования воздействия блуждающих токов на электровзрывные цепи и обоснование безопасных параметров электродетонаторов // Известия вузов. Горный журнал. 1972. № 6.

Таблица 1

Квазистационарные БТ на рудниках ПО „Апатит"

Рудник	Параметры натурных измерений							
	Труба		Порода		Труба		Рельс	
	U, В	I, мА	U, В	I, мА	U, В	I, мА	U, В	I, мА
Кировский	1,5	2,5	0,15	1	5	10	0,1	2,5
	5,0	14	0,2	3	8	500	6	75
Юкспорский	0,15	2,2	0,18	3,0	1,5	20	0,1	0,1
	4,0	20	0,11	5,0	12	1200	0,2	12
Расвумчоррский	5	0,3	0,04	1,8	4.1	26	0,35	2,1
	6	2	0,05	1,0	20	250	0,11	3,0

Примечание. Верхней строке соответствует работа электровоза за 100 м от места измерений, нижней – ближе 50 м.

Для описания переходных процессов, существенно зависящих от времени (а к таковым относятся образование и распространение импульсов), необходимо привлечь систему дифференциальных уравнений с распределенными параметрами

$$\left.\begin{aligned} L\frac{\partial i}{\partial t}+r_i &= -\frac{\partial \varphi}{\partial x}\ ; \\ C\frac{d\varphi}{dt}+\frac{\varphi}{R} &= -\frac{\partial i}{\partial x}\ , \end{aligned}\right\} \qquad (I)$$

где $\varphi(t,x)$ – потенциал в точке x в момент времени t; $i(t,x)$ – ток в той же фазовой точке металлической конструкции; r – продольное сопротивление; R – переходное сопротивление на грунт; L – продольная индуктивность; C – переходная емкость.

Решения системы (I) для стационарного случая $L = C = 0$ выполнены М.И.Озерным и Ю.С.Петровым.

В настоящей работе мы остановимся на качественной теории распространения импульсов токов по протяженным металлическим конструкциям и его существенной особенности, отмеченной экспериментально,– высокой проникающей способности. Для простоты примем, что в проводящую линию проникает прямоугольный импульс тока $\Pi(t)$ продолжительностью Δ и амплитудой A. Условия растекания тока в точке проникновения импульса в рельсовую цепь запишутся в виде

$$i(t,0+)=-i(t,0-);\quad i(t,0+)-i(t,0-)=\Pi(t). \qquad (2)$$

Решая систему (I) с учетом выражений (2) методом преобразования Лапласа, получим формулу для импульса тока

$$i(t,x)\ \left(\frac{1}{2}e^{-\frac{r}{2L}t}\ \Pi\left(t-\sqrt{4C}\ |x|\right)\right)+\frac{r|x|}{4}\sqrt{\frac{C}{L}}\times$$

$$\times\int\Pi(t-s)\,e^{-\frac{r}{2L}s}\ \frac{I_1\left(\frac{r}{2L}\sqrt{s^2-LCx^2}\right)}{\sqrt{s^2-LCx^2}}\,ds\times$$

$$\times\ \theta(t-LC\,|x|)\,\mathrm{sign}\,x,$$

где I_1 - функция Бесселя первого порядка; θ - функция Хевисайда.

Из решения (3) следует, что импульс тока распространяется по проводящей линии в обе стороны от точки проникновения ($x = 0$) со скоростью $v = 1/\sqrt{LC}$. Его затухание определяется величиной

$$\frac{r}{2L}t=\frac{|x|}{2Q};\quad Q=\frac{1}{r}\sqrt{\frac{L}{C}},\qquad(4)$$

где Q - добротность линии, по нашим оценкам, для конкретных условий рудников ПО «Апатит» Q = 102-1000.

Можно показать, что второе слагаемое в решении (3) не вносит существенного вклада в решение для конкретных, рассматриваемых здесь условий, либо мало по амплитуде, осциллирует, либо, при определенном сочетании параметров, вовсе исчезает. Импульс произвольной формы $i_0(t)$ может быть аппроксимирован конечной суммой

$$i_0(t)=\sum^{N}\Pi_K\,(t-t_K)$$

В силу линейности системы (1) решение для распространения по женной металлической конструкции может быть записано в виде

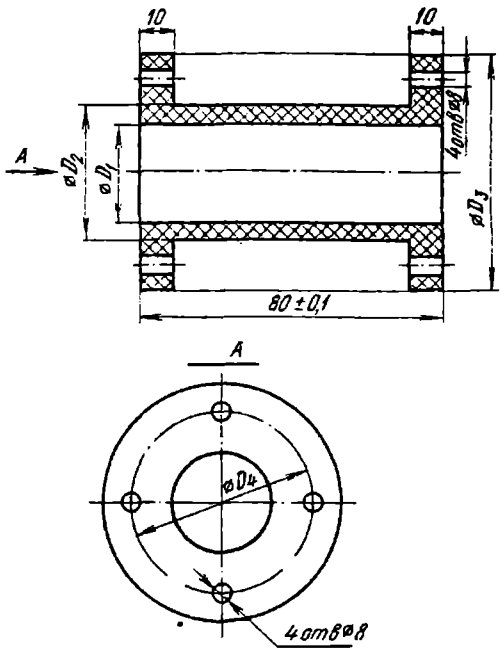
$$i(t,x)=\frac{1}{2}e^{-\frac{x}{2Q}}\sum^{N}\Pi_K(t-t_K)-\sqrt{LC}\,|x|+J(t,x)=$$

$$=\frac{1}{2}e^{-\frac{x}{2Q}}\ i_0(t-\sqrt{LC}\,|x|+J(t,x)\qquad(6)$$

Здесь за $I(t,x)$ принят интегральный член решения (3). Свойство аддитивности решения системы (1) сохраняется для любого разложения, проникающего в линию импульса $i_0(t)$, включая полученное разложение в ряд Фур

Гидропневмомагистрали подземных рудников представляют собой протяженные металлические конструкции. Как показывают измерения, проведенные нами на рудниках ПО «Апатит», импульсы БТ распространяются по ним, слабо затухая, что находит свое объяснение в приведенной математической модели. Одним из способов подавления импульсных БТ на подэтажных выработках могут явиться диэлектрические вставки между магистралями и выработки.

Механические и электрические свойства вставки испытаны нами в лабораторных условиях (см. рисунок). Электрические параметры сухой вставки определяются ее емкостью $C = 3\cdot10^{-14}$ Ф (электропроводность равна нулю). Технологические воды на рудниках имеют значения электропроводности в пределах $(0{,}8\text{-}0{,}9)\cdot10^{-2}$ $Ом^{-1}\cdot м^{-1}$. Анализ проб, взятых в различных точках гидро-



Эскиз вставки

приводов, показывает, что это значение устойчиво.

При выборе типов и величин электрического воздействия на вставку при лабораторных испытаниях мы исходили из значений постоянной, переменной и импульсной составляющей потенциалов БТ, которые обнаружены по металлическим конструкциям гидроприводов откаточных горизонтов в производственных условиях.

Постоянное напряжение U = = 60 В обеспечивалось источником БНН-3 с выпрямлением не менее 0,2 % и максимальным значением тока I А. Переменное напряжение U_m = 30 В обеспечивалось звуковым генератором в диапазоне частот 20–20 $\cdot 10^3$ Гц. Импульс тока формировался разрядом батареи конденсаторов с постоянной времени $\tau = RC$ = 10 мс и амплитудным значением U_m = 20 В. Выбор τ соответствует временным интервалам обнаруженных на трубах импульсов. Основные результаты измерений электропроводящих свойств описанной вставки приведены в табл.2.

Таблица 2

Результаты экспериментальных измерений

$\varkappa$, 10^{-2} Ом$^{-1}$·м$^{-1}$	Параметры испытаний				
	Постоянные, U = 60 В		Переменные, U_m = 30 В		Импульс, U_m = 20 В
	R, кОм	I, мА	R, кОм	I_m, мА	I_m, мА
0,2	28	2,1	15	1,9	2
0,5	13	4,2	5,0	6,0	3
0,8	6	9,1	3,7	7,5	5
1,0	3,1	18	2,2	13	8
1,5	2,3	24	1,7	17	7

Учитывая, что безопасное значение тока для ЭД нормальной чувствительности $I_Б$ = 160 мА, на основании результатов испытаний можно сделать следующие выводы о электроизолирующих свойствах вставки: 1) постоянное напряжение 60 В, приложенное к вставке, наполненной водой с $\varkappa$ (0,8-1,0)·10^{-2} $Ом^{-1}·м^{-1}$, вызывает ток, не превышающий I = 0,1$I_Б$ = 18 мА; 2) переменный ток, вызванный воздействием $U_{пр}$ = 30 практически не зависит от частоты, проявляет прямую зависимость от напряжения и не превосходит в любом случае 0,1$I_Б$; 3) вставка практически непроницаема для импульсов токов, лишь не более одной тысячной импульса, распространяющегося по металлической трубе гидропровода, заполненного технологической водой, проникает через диэлектрическую вставку предложенной конструкции.

Наличие опасных потенциалов БТ на металлических трубах гидропневмоснабжения, размещенных во всех выработках, делает касание их проводом электровзрывной сети опасным. Исключить полностью случайное касание в производственных условиях невозможно. В силу этого планируемое внедрение предлагаемых диэлектрических вставок, их электрические свойства позволят проводить электровзрывные проходческие работы полностью безопасно от блуждающих токов.