

В. И. ВИТЕВСКИЙ, С. В. САПАРОВСКИЙ, Е. П. СМЕЛЯКОВ

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РАСЧЕТА РЕЖИМОВ РАЗРЯДА ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Способ электрогидравлической штамповки позволяет выполнять ряд технологических операций—вырубку, пробивку, формовку, вытяжку, раздачу, калибровку и обрабатывать металлы с весьма различными механическими свойствами, в том числе труднодеформируемые.

Каждой технологической операции и каждому материалу соответствует оптимальный режим разряда, определяемый как запасенной энергией, так и скоростью выделения энергии, т. е. мощностью разряда. Мощность разряда определяет интенсивность нагружения заготовки. Как известно, каждый материал характеризуется критической скоростью удара, т. е. скоростью нагружения, которую он может выдерживать без разрушения [2]. Следовательно, при выполнении формирующих операций амплитуда давления и скорость его нарастания должны быть ограничены.

С другой стороны, при выполнении разделительных операций интенсивность нагружения заготовки должна быть возможно более высокой. При этом достигается улучшение качества изделий и значительное снижение потребляемой энергии.

Скорость выделения запасенной энергии, а следовательно, и интенсивность нагружения заготовки при заданной начальной энергии определяется параметрами электрогидравлической установки: номинальным напряжением, емкостью, индуктивностью и сопротивлением.

Целью данной работы является установление основных зависимостей, связывающих режим разряда с параметрами разрядного контура. Рассмотрим эквивалентную схему электрогидравлической

установки (рис. 1). Она включает в себя емкость накопителя энергии C , индуктивность конденсаторов, токопроводов и электродов L и сопротивление канала разряда и токопроводов R . В первом приближении будем считать сопротивление канала разряда линейным. В этом случае максимальный разрядный ток $I_{1\max}$, время первого максимума тока $t_{1\max}$ и максимальную мгновенную

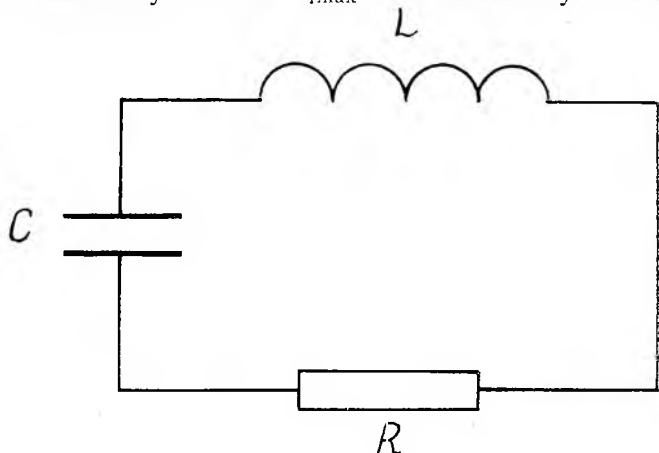


Рис. 1. Эквивалентная схема разрядного контура электрогидравлической установки

мощность P_{\max} на сопротивлении R можно определить по формулам [1]:

$$I_{1\max} = -\frac{U_0}{\omega L} e^{-\alpha t_{\max}} \sin \omega t_{\max}, \quad (1)$$

$$t_{1\max} = \frac{\arctg \frac{\omega}{\alpha}}{\omega}, \quad (2)$$

$$P_{\max} = I_{\max}^2 \cdot R, \quad (3)$$

где U_0 — начальное напряжение накопителя энергии, ω ;

α — коэффициент затухания разрядного контура;

ω — частота разрядного контура.

Величины α и ω определяются выражениями:

$$\alpha = \frac{R}{2L}; \quad \omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}. \quad (4)$$

Прсобразуем формулы (1), (2) и (3) таким образом, чтобы выявить зависимость характеристик разряда от параметров контура.

Для этого введем относительное сопротивление контура \bar{r} , равное отношению его активного сопротивления к критическому, которое определяет границу между колебательным и апериодическим режимами разряда:

$$\bar{r} = \frac{R}{R_{\text{кр}}} = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}}. \quad (5)$$

Тогда соотношения (4) приобретают вид:

$$\alpha = \frac{\bar{r}}{\sqrt{LC}}; \quad \omega = \frac{\sqrt{1-\bar{r}^2}}{\sqrt{LC}}. \quad (4-a)$$

Подставляя эти выражения в (1), (2), (3), получим:

$$t_{1 \max} = b\sqrt{LC}; \quad (2-)$$

$$I_{1 \max} = dU_0 \sqrt{\frac{C}{L}}; \quad (1-a)$$

$$P_{\max} = mU_0^2 \sqrt{\frac{C}{L}}. \quad (3-a)$$

Коэффициенты b , d , m в этих формулах зависят только от относительного сопротивления контура:

$$b = \frac{\operatorname{arctg} \frac{\sqrt{1-\bar{r}^2}}{\bar{r}}}{\sqrt{1-\bar{r}^2}}; \quad (2-6)$$

$$d = -\frac{e^{-\bar{r}b}}{\sqrt{1-\bar{r}^2}} \cdot \sin b \sqrt{1-\bar{r}^2}; \quad (1-6)$$

$$m = 2\bar{r}d^2. \quad (3-6)$$

Их значения для режима колебательного разряда в контуре приведены в таблице 1.

Эти данные позволяют быстро рассчитать максимальный ток, длительность разряда и максимальную мгновенную мощность при

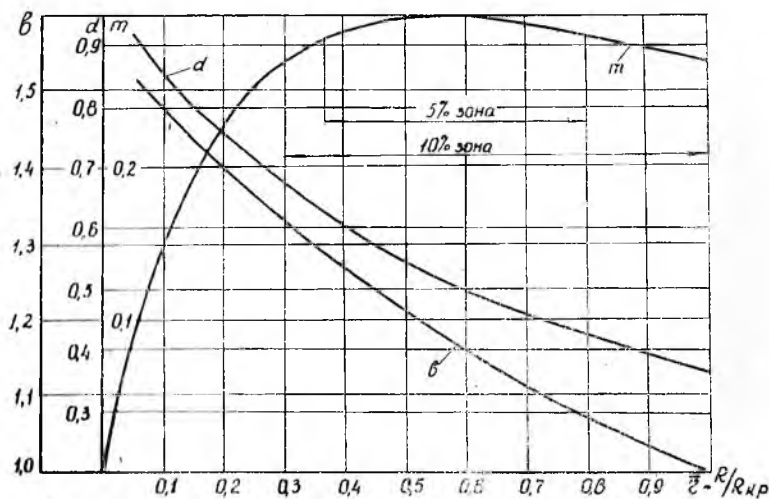


Рис. 2. Зависимость коэффициентов тока, времени максимума тока и мощности разряда от относительного сопротивления контура

заданной комбинации параметров разрядного контура U_0, C, L, R .

Поведение исследуемых характеристик разряда при изменении относительного сопротивления иллюстрируется рис. 2. Как видно из графика, с увеличением относительного сопротивления контура

Таблица 1

$\bar{r} = \frac{R}{R_{кр}}$	b	d	m
0,06	1,5127	-0,913	—
0,07	1,5055	-0,901	—
0,1	1,4796	-0,863	0,149
0,2	1,3974	-0,756	0,229
0,3	1,3273	-0,672	0,271
0,4	1,2663	-0,603	0,291
0,5	1,2091	-0,546	0,298
0,55	1,182	-0,521	0,2985
0,6	1,1598	-0,491	0,301
0,7	1,1132	-0,458	0,294
0,8	1,0718	-0,423	0,286
0,9	1,0363	-0,394	0,279
1,0	1,00	-0,367	0,270

максимальный разрядный ток и время максимума тока монотонно убывают, а максимальная мгновенная мощность имеет неострый максимум при $\bar{r}=0,6$. Характер изменения максимальной мгновенной мощности позволяет в широких пределах варьировать сопротивлением разрядного контура (длиной разрядного промежутка).

В частности, при изменении относительного сопротивления разрядного контура от 0,3 до 1,0 мощность

установки изменяется не более, чем на 10%.

Таким образом, в определенных пределах длина разрядного промежутка оказывает слабое влияние на характер выделения энергии и может выбираться с учетом других соображений — обеспечения стабильного и экономичного пробоя или высокого электрического к. п. д.

Рассмотрим вопрос о соотношении характеристик разряда в установках с различными параметрами разрядного контура. Для этого представим формулу (3-а) в следующем виде:

$$P_{\max} = 2mW_0 \omega_0, \quad (6)$$

где $W_0 = \frac{CU_0^2}{2}$ — начальная энергия накопителя, дж;

$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ — собственная частота разрядного контура, $\frac{1}{\text{сек}}$.

Из формулы (6) следует, что равноценные по мощности и длительности разряды получаются в установках с одинаковыми запасаемыми энергиями и собственными частотами. Кроме того, эта формула позволяет объяснить разницу в характере разряда установок с различными рабочими напряжениями. Индуктивность современных электрогидравлических установок определяется в основном электродами технологического блока и примерно одинакова при различных рабочих напряжениях. Емкость низковольтных установок при равной запасаемой энергии значительно больше, чем высоковольтных. В результате собственная частота $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

низковольтных установок и развиваемая ими максимальная мгновенная мощность оказываются ниже, чем соответствующие параметры установок с более высоким рабочим напряжением.

Экспериментальная проверка изложенных выше положений производилась на установке ЭГШ-1 с номинальным напряжением 50 кВ и энергоемкостью 37,5 кДж. Параметры энергоблока установки при переключениях накопителя энергии приведены в таблице 2.

Таблица 2

Число конденсаторов	2	4	6	8	10
Емкость, мкф.	5,8	11,7	17,2	22,9	28,6
Индуктивность, мкГн.	2,32	2,28	2,26	2,24	2,22
Собственная частота, кГц	43,5	31,3	25,6	22,8	20

Измерение разрядного тока осуществлялось поясом Роговского, напряжения на электродах — компенсированным емкостно-омическим делителем. Регистрация обоих параметров производилась на двухлучевом осциллографе С1-27 (ОК-25).

Максимальная мгновенная мощность определялась в момент

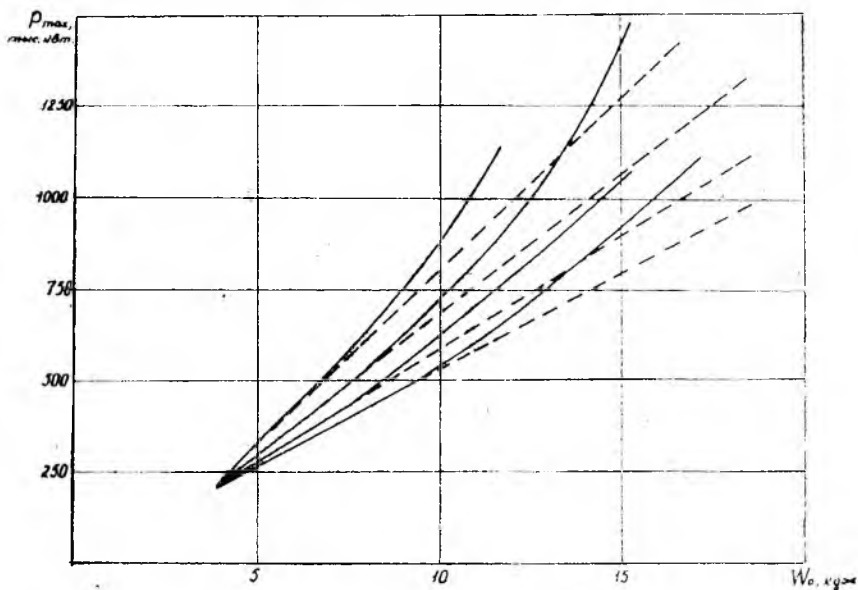


Рис. 3. Зависимость максимальной мгновенной мощности разряда от начальной энергии

n — число конденсаторов накопителя энергии
 — теоретические характеристики разряда, рассчитанные по формуле (6)
 — экспериментальные характеристики разряда

первого максимума тока разряда путем перемножения амплитуд тока и напряжения на электродах.

Результаты эксперимента представлены на графике рис. 3. Общий характер зависимости максимальной мгновенной мощности от запасенной энергии соответствует формуле (6). При меньшей емкости накопителя и большей собственной частоте мощность, развиваемая установкой при равной энергии, выше. Однако вследствие нелинейности сопротивления разрядного промежутка зависимость $P_{\max}(W_0)$ отличается от прямолинейной. Это вызвано тем, что изменяется коэффициент m в формуле (6).

Чтобы иметь возможность использовать выражение (6) для расчета реальных разрядных контуров электрогидравлических установок, необходимо исследовать зависимость коэффициента m от параметров разряда.

На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что для расчета мощностных характеристик разряда электрогидравлических установок допустимо использовать закономерности линейных цепей с учетом нелинейности характеристик канала разряда в жидкости. Приведенные в работе зависимости могут быть использованы для пересчета режимов разряда разнотипных установок и проектирования разрядного контура с целью обеспечения заданной мощности и продолжительности разряда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Р. Нейман, П. Л. Калантаров. Теоретические основы электро-техники. М—Л, 1959.
 2. Высокоскоростное деформирование металлов. М 1966.
-