

УДК 622.235.432.23

**Ю.С. Петров, Ю.В. Саханский**

**АЛГОРИТМ МАШИННОГО РАСЧЕТА  
ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
СИСТЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИНИЦИИРОВАНИЯ  
ВЗРЫВАНИЯ ЗАРЯДОВ**

Семинар №11

**Р**асчет систем электрического инициирования зарядов взрывчатых веществ (систем электровзрывания) сводится к установлению взаимных соответствий между параметрами воздействия на систему и её реакцией на это воздействие. В общем виде это может быть записано следующим образом:

$$f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \div f_2(y_1, y_2, \dots, y_n) \quad (1)$$

где  $x_1, x_2, \dots, x_n$  - факторы, определяющие воздействие,  $y_1, y_2, \dots, y_n$  - факторы, определяющие реакцию системы.

Критерием этого соответствия является безотказное срабатывание электродетонаторов (ЭД) системы.

При расчете системы может возникнуть два типа задач:

1) Заданы параметры воздействия (взрывного прибора) и требуется определить параметры подверженной воздействию части системы (электровзрывной цепи)

2) Заданы параметры электровзрывной цепи и требуется определить параметры взрывного прибора.

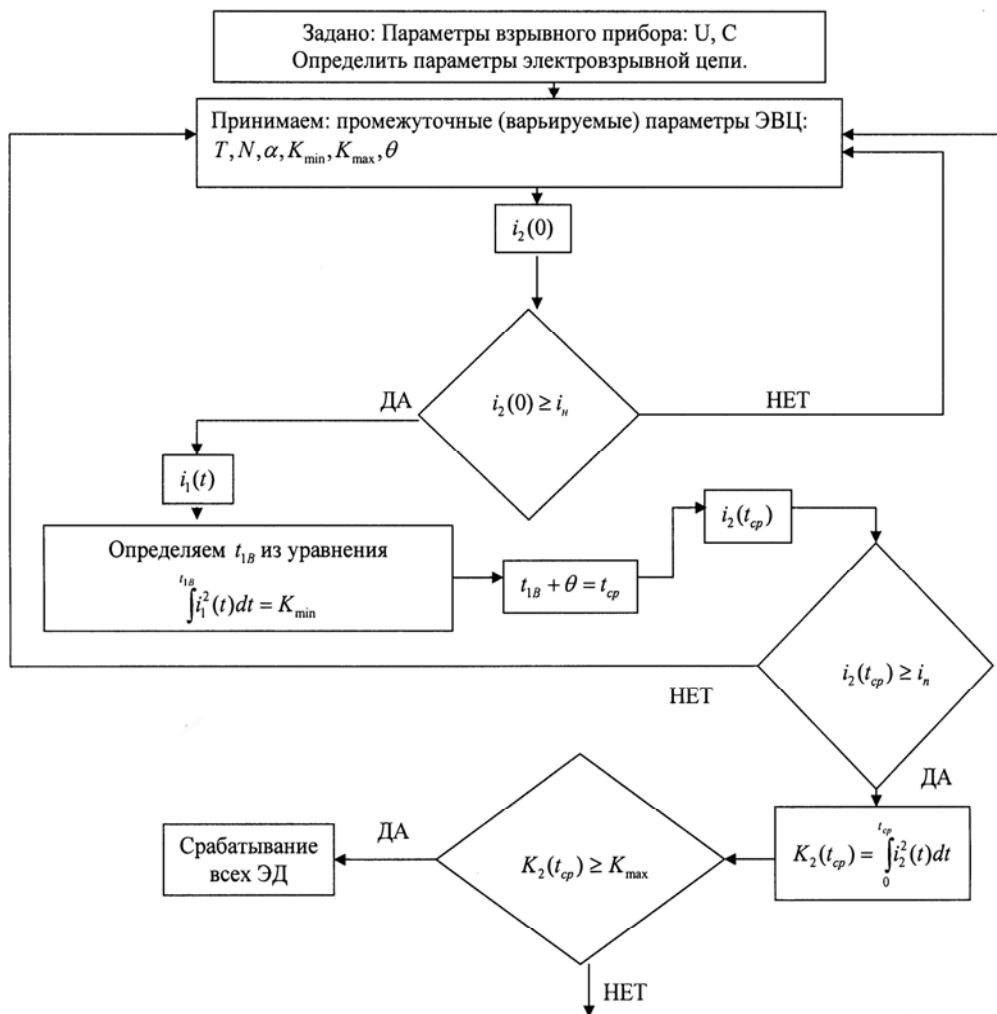
В обоих случаях в результате воздействия на систему должно произойти срабатывание всех ЭД, что и определяет количественные

входные и выходные характеристики системы.

До недавнего времени расчет систем электрического инициирования на безотказность срабатывания ЭД производился без должного привлечения ЭВМ и элементов САПР. Авторами разработан универсальный алгоритм, позволяющий решать оба типа задач с помощью ЭВМ. Алгоритм изображен на рис. 1.

В соответствии с рис. 1 при решении задачи первого типа заданными являются параметры воздействия. В случае наиболее распространенного автономного конденсаторного взрывного прибора, этими параметрами будут: емкость конденсатора-накопителя  $C$  и напряжение на нем  $U$ .

Для определения максимального возможного количества одновременно инициируемых ЭД при заданных  $C$  и  $U$  (задача первого типа), следует задаваться промежуточными значениями параметров электровзрывной цепи и ЭД: топологией цепи ( $T$ ), числом ЭД ( $N$ ), коэффициентом передачи по току  $\alpha$  и соответствующими паспортными данными ЭД:  $K_{\max}$ ,  $K_{\min}$  - максимальным и минимальным импульсами воспламенения, временем передачи  $\theta$ .



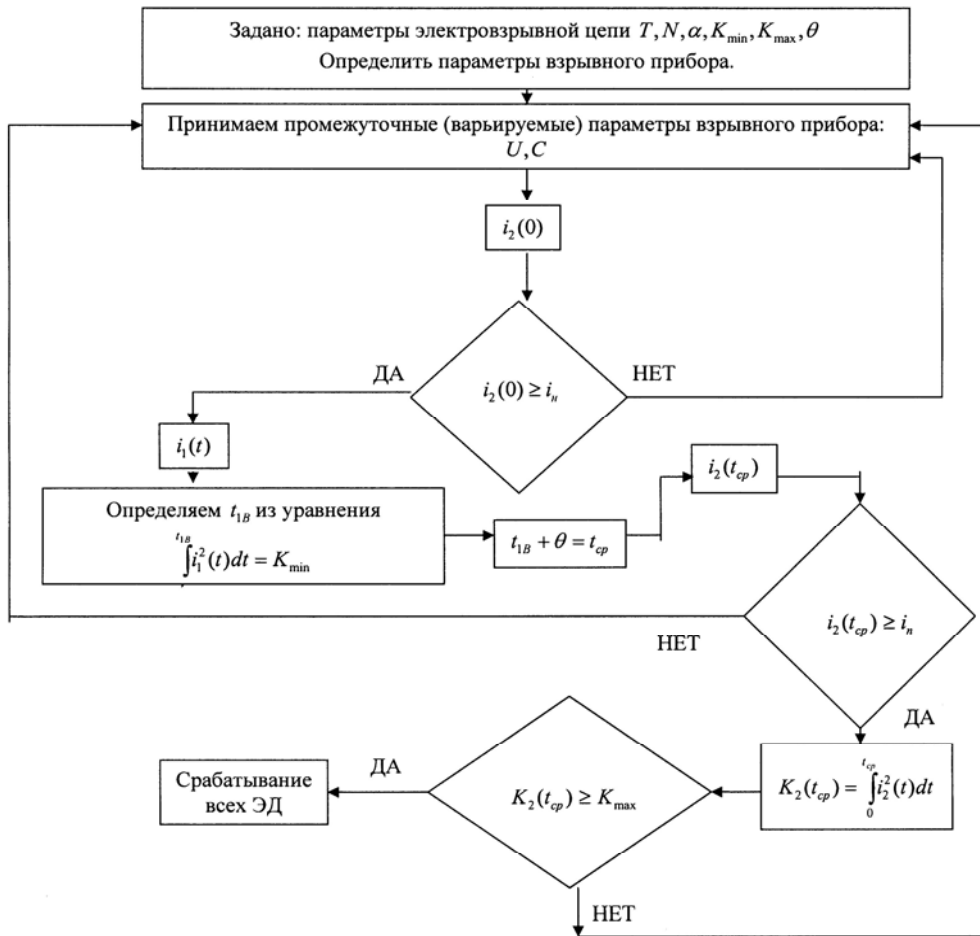
**Рис. 1. Алгоритм расчета задачи первого типа**

Предварительно, максимально допустимое число ЭД можно ориентировочно определить по мощности взрывного прибора и средней удельной мощности одного ЭД.

Первым действием в соответствии с алгоритмом, представленным на рис. 1, является определение тока  $i_2(0)$  в ЭД, обтекаемым наименьшим током в цепи. Этот ток должен быть

не менее нормированного значения  $i_n$ . Если это требование не выполняется, то изменяется один из параметров электровзрывной цепи. Обычно изменяют число ЭД или топологию цепи.

После выполнения требования  $i_2(0) \geq i_n$  необходимо вычислить ток  $i_1(t)$ , протекающий через ЭД, обте-



**Рис. 2. Алгоритм решения задач второго типа**

каемый наибольшим током в цепи. Далее определяется время срабатывания наиболее чувствительного ЭД -  $t_{1B}$  (в предположении, что он обтекает максимальным током) из уравнения:

$$\int_0^{t_{1B}} i_1^2(t) dt = K_{\min} \quad (2)$$

После определения  $t_{1B}$  вычисляется время срабатывания  $t_{cp}$  наиболее чувствительного ЭД из уравнения:

$$t_{cp} = t_{1B} + \theta \quad (3)$$

Ток в конце промежутка времени  $t_{cp}$  также должен быть не менее нормированного. В соответствии с этим требованием сначала вычисляется ток  $i_2(t_{cp})$  и далее производится его сравнение с нормированным током  $i_H$ . Если выполняется условие:

$$i_2(t_{cp}) \geq i_H, \quad (4)$$

то переходят к следующему этапу – вычислению  $K_2(t_{cp})$ . Если условие (4) не выполняется, то необходимо вернуться к началу расчета, изменить (в общем случае) любой из влияющих параметров (которые можно изменять в соответствии с данной практической задачей) и провести все рассмотренные ранее этапы расчета. Как уже указывалось, при выполнении условия (4) необходимо вычислить импульс воспламенения, который получит за время срабатывания  $t_{cp}$  ЭД, находящийся в наихудших условиях, то есть обтекаемый наименьшим током:

$$K_2(t_{cp}) = \int_0^{t_{cp}} i_2^2(t_{cp}) dt \quad (5)$$

Время срабатывания  $t_{cp}$  является временем протекания тока в цепи и временем ее существования. За это время наименее чувствительный ЭД, характеризующийся импульсом тока  $K_{2max}$ , должен получить энергию, достаточную для его срабатывания, что выражается условием:

$$K_2(t_{cp}) \geq K_{max} \quad (6)$$

Выполнение условия (6) означает срабатывание всех ЭД в цепи. Если условие (6) не выполняется, то расчет следует начать сначала, изменяя входные параметры.

Решение задач второго типа выполняется по алгоритму, изображенному на рис. 2.

Сравнивая рис. 1 и рис. 2 можно констатировать, что алгоритм рис. 2 получается из алгоритма рисунка 1 переменной мест верхних прямоугольников. В соответствии с этим, варьируемыми величинами при вычислениях по алгоритму на рис. 2, являются не параметры электровзрывной цепи, а параметры взрывного прибора. В

остальном, вычислительные действия алгоритмов – одинаковы.

Алгоритм первого типа применяется при проектировании электровзрывной цепи, то есть при практических расчетах электровзрывной цепи, а алгоритм второго типа – при проектировании прибора взрыва.

Приведенные алгоритмы являются наиболее общими и универсальными. Они применимы к любым типам взрывных приборов (конденсаторные, индуктивные, сетевые и т.д.) и к любым типам ЭД.

Рассмотрим конкретное применение алгоритма на рис. 1 для реальной электровзрывной цепи с параметрами: топология цепи  $T$  - последовательное соединение ЭД, коэффициент передачи  $\alpha = 0.9$ , параметры ЭД нормальной чувствительности  $K_{min} = 0.6 \cdot 10^{-3}$  А·с,  $K_{max} = 2 \cdot 10^{-3}$  А·с, время передачи  $\theta = 1.2 \cdot 10^{-3}$  с, нормированное значение тока  $I_H = 0.7$  А. При этом для инициирования данной электровзрывной цепи используется конденсаторный взрывной прибор с параметрами: ёмкость конденсатора-накопителя  $C = 9 \cdot 10^{-6}$  Ф с рабочим напряжением  $U = 600$  В.

Результаты расчета данной цепи сведены в табл. 1.

Расчет по алгоритму 1 показывает, что при заданных входных условиях заданный прибор взрыва может гарантированно инициировать в данной электровзрывной цепи не более 74 ЭД. При большем количестве ЭД наступает отказ.

Расчет практического применения алгоритма, приведенного на рис. 2, приведен в табл. 2. При этом все входные величины для расчета аналогичны приведенным выше.

Таблица 1

<b>N, шт.</b>	<b><math>i_2(0), A</math></b>	<b><math>t_{cp}, c</math></b>	<b><math>i_2(t_{cp}), A</math></b>	<b><math>K_2(t_{cp}), A \cdot c</math></b>	<b>Результат</b>
60	2,813	$9,965 \cdot 10^{-4}$	1,58	$2,488 \cdot 10^{-3}$	Срабатывание
70	2,411	$9,625 \cdot 10^{-4}$	1,496	$2,154 \cdot 10^{-3}$	Срабатывание
71	2,377	$9,595 \cdot 10^{-4}$	1,487	$2,121 \cdot 10^{-3}$	Срабатывание
72	2,344	$9,558 \cdot 10^{-4}$	1,478	$2,088 \cdot 10^{-3}$	Срабатывание
73	2,312	$9,524 \cdot 10^{-4}$	1,47	$2,058 \cdot 10^{-3}$	Срабатывание
74	2,28	$9,49 \cdot 10^{-4}$	1,461	$2,026 \cdot 10^{-3}$	Срабатывание
75	2,25	$9,456 \cdot 10^{-4}$	1,45	$1,988 \cdot 10^{-3}$	Отказ
...	...	...	...	...	...
100	1,688	$8,604 \cdot 10^{-4}$	1,252	$1,349 \cdot 10^{-3}$	Отказ
150	1,125	$6,912 \cdot 10^{-4}$	0,959	$6,357 \cdot 10^{-4}$	Отказ
200	0,844	$5,2 \cdot 10^{-4}$	0,959	$3,091 \cdot 10^{-4}$	Отказ

Таблица 2

<b>U, В</b>	<b><math>i_2(0), A</math></b>	<b><math>t_{cp}, c</math></b>	<b><math>i_2(t_{cp}), A</math></b>	<b><math>K_2(t_{cp}), A \cdot c</math></b>	<b>Результат</b>
700	1,969	$9,118 \cdot 10^{-4}$	1,434	$1,875 \cdot 10^{-3}$	Отказ
710	1,997	$9,16 \cdot 10^{-4}$	1,453	$1,934 \cdot 10^{-3}$	Отказ
720	2,025	$9,202 \cdot 10^{-4}$	1,471	$1,991 \cdot 10^{-3}$	Отказ
730	2,053	$9,424 \cdot 10^{-4}$	1,51	$2,107 \cdot 10^{-3}$	Срабатывание
740	2,082	$9,281 \cdot 10^{-4}$	1,508	$2,111 \cdot 10^{-3}$	Срабатывание
750	2,11	$9,319 \cdot 10^{-4}$	1,526	$2,17 \cdot 10^{-3}$	Срабатывание

Из табл. 2 видно, что для инициирования электровзрывной цепи заданной конфигурации с определёнными параметрами и содержащей 100 ЭД, необходим конденсаторный прибор взрывания емкостью  $C = 9 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$  при напряжении на его обкладках не менее 730 В.

Разработанные алгоритмы позволяют автоматизировать расчеты систем электрического инициирования зарядов взрывчатых веществ, провести необходимый анализ возможных вариантов и выбрать наиболее оптимальный для заданных условий взрывания. **ТМАС**

### Коротко об авторах

Петров Ю.С. – доктор технических наук, профессор,  
Саханский Ю.В. – аспирант,  
Московский государственный горный университет.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 11 симпозиума «Неделя горняка-2008». Рецензент д-р техн. наук, проф. Л.Д. Певзнер.

