

**РОЗРАХУНКОВА ОЦІНКА ЄМНІСНИХ КІЛ
ІСКРОБЕЗПЕЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ШАХТ,
НЕБЕЗПЕЧНИХ ЗА ГАЗОМ**

А. Г. Мнухін

Запорізька державна інженерна академія
просп. Соборний, 226, м. Запоріжжя, 69006, Україна.
E-mail: anatoly.mnukhin@gmail.com

О. Ю. Гладков

ДП ВКФ «ШАТЛ»
вул. Тбіліська, 11, м. Кривий Ріг, 50005, Україна. E-mail: gladkov55@ukr.net

Одним із заходів запобігання вибухів у вугільних шахтах є впровадження в електрообладнання виду вибухозахисту «Іскробезпечне електричне коло» і ». На стадії розробки та при випробуваннях такого роду електрообладнання неодноразово виникає необхідність оцінки його іскробезпеки. Ця робота присвячена удосконаленню методу розрахункової оцінки іскробезпеки в частині підвищення його достовірності за рахунок уточнення параметрів моделі розряду ємнісного кола, визначених експериментальним шляхом. Застосування даного методу щодо іскробезпечного обладнання, що розробляється для шахт, небезпечних за газом, значно скорочує терміни його впровадження з більш достовірним дотриманням параметрів іскробезпеки і тим самим приводить до зниження ризику виникнення вибуху у шахтах.

Ключові слова: вугільна промисловість, розрахункові методи, оцінка іскробезпеки, енергія розряду, достовірність результатів.

**РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА ЕМКОСТНЫХ ЦЕПЕЙ
ИСКРОБЕЗОПАСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ШАХТ,
ОПАСНЫХ ПО ГАЗУ**

А. Г. Мнухин

Запорожская государственная инженерная академия
просп. Соборный, 226, г. Запорожье, 69006, Украина.
E-mail: anatoly.mnukhin@gmail.com

А. Ю. Гладков

ДП ПКФ «ШАТЛ»
ул. Тбилисская, 11, г. Кривой Рог, 50005, Украина. E-mail: gladkov55@ukr.net

Одним из способов предотвращения взрывов в угольных шахтах является внедрение в электрооборудование вида взрывозащиты «Искробезопасная электрическая цепь «і». На стадии разработки и при испытаниях подобного электрооборудования неоднократно возникает необходимость оценки его искробезопасности. Данная работа посвящена усовершенствованию метода расчетной оценки искробезопасности в части повышения его достоверности за счет уточнения параметров модели разряда емкостной цепи, определенных экспериментальным путем. Применение данного метода к разрабатываемому искробезопасному обо-

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

рудованню для шахт, небезпечних по газу, значительно сокращает сроки его внедрения с более достоверным соблюдением параметров искробезопасности и тем самым приводит к снижению риска возникновения взрыва.

Ключевые слова: угольная промышленность, расчетные методы, оценка искробезопасности, энергия разряда, достоверность результатов.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Майже 90% шахт вугільної промисловості України розробляють газонасні та викидонебезпечні пласти. Вибухобезпека виробничих процесів на них - невід'ємна частина системи охорони і безпеки праці. Одним з основних принципів зниження ризику вибуху є запобігання появи активних джерел займання за рахунок застосування в рудниковому електрообладнанні захисних заходів - видів вибухозахисту. Найефективнішим з них є вид вибухозахисту «Іскробезпечне електричне коло «і»». Він створює такі умови, що електричний розряд в колі та нагріті елементи обладнання не можуть запалити вибухонебезпечне середовище при нормальній роботі та з урахуванням пошкоджень елементів обладнання відповідно ДСТУ EN 60079-11:2016 та [1]. Навіть в наявності вибухонебезпечного середовища, перебуваючи при цьому під напругою. Ця властивість, що належить тільки даному виду вибухозахисту, а також ряд інших переваг (менша вага і габарити виробу, більш проста технологія виготовлення і відповідно менша вартість) обумовлює його широке застосування в шахтних виробках зв'язку, моніторингу, аерогазового контролю і т.д [2, 3]. У більшості випадків рудникове вибухозахищене електрообладнання з видом вибухозахисту «іскробезпечне електричне коло «і» містить ємнісні кола, що визначаються наявністю конденсаторів в електричній схемі. Таким чином, на стадії розробки і при випробуваннях даного електрообладнання неодноразово виникає необхідність оцінки іскробезпеки послідовного, паралельного або змішаного з'єднання ємнісних кіл. Така оцінка, на сьогоднішній день, може бути виконана як експериментальним методом, за допомогою вибухових камер, заповнених випробувальною вибухонебезпечною сумішшю відповідно ДСТУ EN 60079-11:2016, ГОСТ 31610.11-2014, ГОСТ Р 51330.10-99 та [4], так і розрахунковими методами, викладеними у ГОСТ Р 51330.10-99 та [5, 6]. За рахунок більш високої достовірності та інформативності отриманих параметрів, що запалюють, меншого часу випробувань, можливості в процесі оцінки вибирати оптимальні параметри електрообладнання з точки зору забезпечення вибухобезпеки (враховується запас), актуальність розрахункових методів оцінки зростає [7]. Аналіз вказаних розрахункових методів показав, що метод [5] є найбільш перспективним на сьогоднішній день, бо він має найнижчу похибку (10-20%) граничних значень ємності кола, отриманих при моделюванні і з графіків залежностей $C(U, R)$, наведених у ГОСТ Р 51330.10-99. При цьому виявлено розбіжність значень параметрів розряду (тривалість, енергія розряду, максимальний струм), отриманих при моделюванні даним методом і шляхом експерименту [8], яке досягає 16-20%. Тому задача вдосконалення математичної моделі даного методу є актуальною і вимагає досліджень в частині уточнення і обґрунтування її параметрів, що забезпечують зниження розбіжності результатів моделювання і експе-

риментальних даних. Основою розрахункового методу оцінки іскробезпеки [5] є математична модель розряду замикання. Ця модель заснована на незмінному значенні напруги розряду в усталеному режимі на рівні 11 В, експоненційному зниженні напруги розряду з початкового до сталого значення з постійною часу 10^{-9} с. Згідно [9] для розрядів розмикання встановлено, що при позитивній полярності на вольфрамовому електроді стає значення напруги на розряді складає $10,3 \pm 1,0$ В, а при негативній - $9,4 \pm 0,9$ В. При цьому даний рівень не залежить від його початкового струму. Таким чином, в математичній моделі розряду замикання значення усталеного рівня напруги на розряді відповідає полярності WO+Cd- (вольфрам-кадмій), отриманої експериментально при розрядах розмикання. Не до кінця досліджені розряди короткого замикання ємнісного іскробезпечного кола. Оскільки однозначно не визначена залежність величини напруги розряду від початкової напруги на ємності і від матеріалу контактуючих пар. Час встановлення напруги на розряді складає приблизно 0,1 мкс і відповідає часу утворення при пробі стрімерів - вузьких провідних (заповнених плазмою) каналів, що виходять від одного з електродів [10]. Отже, постійна часу даного процесу становить 33 нс. Для забезпечення умови виділення в розряді за 0,1 мкс всієї енергії, накопиченої в конденсаторі, постійна часу встановлення напруги на розряді повинна бути не більше 10^{-9} с [8]. Відповідно, при постійній часу 33 нс, виділиться приблизно 94% від усієї енергії конденсатора. Таким чином, в математичній моделі розряду замикання значення постійної часу відповідає умові виділення всієї енергії конденсатора і враховує час формування при пробі стрімерів.

Мета роботи полягає в підвищенні точності відомого розрахункового методу оцінки іскробезпеки ємнісних кіл за рахунок уточнення і обґрунтування параметрів його моделі розряду.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Для уточнення параметрів даної моделі необхідно виконати дослідження впливу енергії, що виділяється від полярності (вольфрам-кадмій), а також експериментальних залежностей формування напруги на розряді від часу при різній напрузі кола і матеріалу контактів. З метою формування експериментальних залежностей перехідних процесів замикання *RC*, *RLC* кіл (струм розряду і напруга на розряді), наближених за параметрами до перехідних процесів, які виникають при проведенні оцінки експериментальним методом за допомогою вибухових камер, спроектований спеціальний іскроутворюючий механізм (ІМ) розрядів замикання (рис. 1).

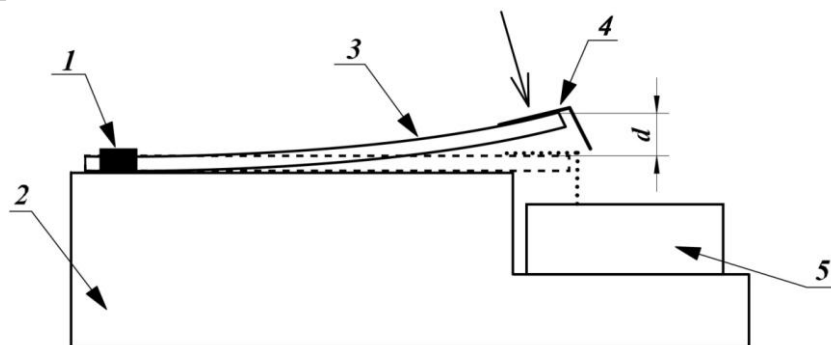


Рисунок 1 – Іскроутворюючий механізм розрядів замикання

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

ІМ уявляє собою підставу з діелектричного матеріалу 2, на якому встановлені пружинна пластина, що проводить 3 з фіксатором 1 і кадмієвий диск 5, який використовується в іскроутворюючому механізмі при випробуваннях електричних кіл камерним способом. У свою чергу, на кінці пружинної пластини закріплений вигнутий вольфрамовий дріт 4 діаметром 0,2 мм, який також використовується в іскроутворюючому механізмі при випробуваннях електричних кіл експериментальним методом. Ця конструкція ІМ дозволяє регулювати швидкість замикання контактів. Відхилення пластини d прямо пропорційно швидкості замикання дроту з диском за рахунок збільшення сили протидії в пластині при більшому відхиленні. Тривалість розрядів замикання є максимальною при низькій швидкості замикання контактів. Схема реєстрації експериментальних залежностей перехідних процесів RC , RLC кіл при замиканні (рис. 2) включає в себе:

- блок живлення постійного струму з стабілізованою вихідною напругою (БП), що регулюється;
- струмообмежувальний резистор $R1$, що виключає вплив енергії БП в коло розряду;
- досліджуване RLC коло з елементами $C1$, $L1$, $R2$;
- кнопку $S1$, що дозволяє досліджувати як RLC , так і RC кола;
- кнопки $S2$, $S3$, що дозволяють проводити зміну полярності напруги на елементи ІМ: вольфрамовий дріт (WO) і кадмієвий диск (Cd);
- іскроутворюючий механізм ІМ;
- цифровий осцилограф, що запам'ятовує, з каналами 1 (OSC1) і 2 (OSC2) відповідно.

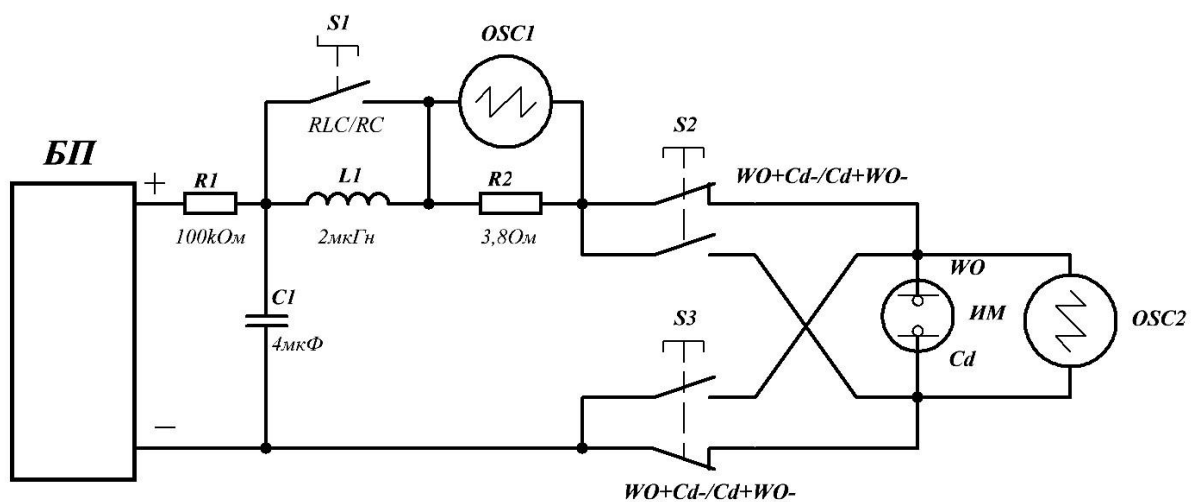


Рисунок 2 – Схема реєстрації експериментальних залежностей перехідних процесів RC , RLC кіл при замиканні

Досліджено експериментальні залежності напруги розряду U_p від часу при короткому замиканні іскробезпечного ємнісного кола при різних напругах: 30 В, 50 В, 70 В і з чергуванням полярності $WO-Cd+ / WO+Cd-$ відповідно. При незмінних параметрах кола $R1=3,8$ Ом, $L1=0$ мкГн, $C1=4$ мкФ. Основні характеристики розряду наведені в табл. 1.

**ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА
НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ**

Таблиця 1 – Основні характеристики розряду

Напруга кола, E , В	Енергія розряду, $W_p(I_0)$, мкДж ¹⁾	Час розряду T_p , мкс ¹⁾	Максимальний струм розряду I_p , А
<i>WO-Cd+</i>			
30	570	31	4,6
50	1150	37	9,5
70	1650	41	14,3
<i>WO+Cd-</i>			
30	720	39	5,1
50	1430	49	10
70	2150	55	15,3

¹⁾ – наведені значення при досягненні струму обриву дуги $I_0=0,5A$

В результаті досліджень встановлено, що при позитивній полярності на вольфрамовому електроді стає значення напруги на розряді складає $8,9 \pm 1,2$ В, а при негативній – $9,3 \pm 0,8$ В. При цьому даний рівень не залежить від його початкового струму. Величина напруги на розряді визначається матеріалом контактуючих пар і не залежить від початкової напруги на ємності. При різній нарузі більше енергії виділяється в розряд при полярності *WO+Cd-*, яка повинна враховуватися в комп'ютерній моделі розряду (табл. 1). Визначення часу формування напруги на розряді і вплив на нього напруги кола зводиться до дослідження експериментальних залежностей напруг розряду U_p , струмів розряду I_p від часу при короткому замиканні іскробезпечного омичного кола. Омичне коло вибрано не випадково, воно виключає вплив ємності і індуктивності кола на досліджуваний параметр. Експериментальні дослідження проводилися при різних напругах кола 30 В, 50 В, 70 В з урахуванням рекомендацій щодо вибору оптимальної полярності (*WO+Cd-*), отриманих раніше в статті. На рис. 3 і 4 наведені по п'ять знятих довільно експериментальних залежностей напруги на розряді $U_{p1} - U_{p5}$ і струму розряду $I_{p1} - I_{p5}$ від часу T при замиканні омичного кола з параметрами: $R_2=3,8$ Ом, $L_1=0$ мкГн, $C_1=0$ мкФ, $U_{БП}=30$ В.

За допомогою пакета MathCAD [11] розраховані і показані на даних рисунках середні значення залежностей U_{p_cp} , I_{p_cp} за формулами (1), (2) відповідно.

$$U_{p_cp_i} = \frac{U_{p1_i} + U_{p2_i} + U_{p3_i} + U_{p4_i} + U_{p5_i}}{5}, \quad (1)$$

де $U_{p_cp_i}$ – середнє значення напруги на розряді, В; i – номер значення в масивах даних в діапазоні від 1 до N ; N – загальна кількість значень в масивах; $U_{p1_i} - U_{p5_i}$ – миттєві значення напруги на розряді, В.

$$I_{p_cp_i} = \frac{I_{p1_i} + I_{p2_i} + I_{p3_i} + I_{p4_i} + I_{p5_i}}{5}, \quad (2)$$

де $I_{p_cp_i}$ – середнє значення струмів розряду, А; $I_{p1_i} - I_{p5_i}$ – миттєві значення струмів розряду, А.

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

$U_{p1}-U_{p5}, B$
 U_{p_cp}, B

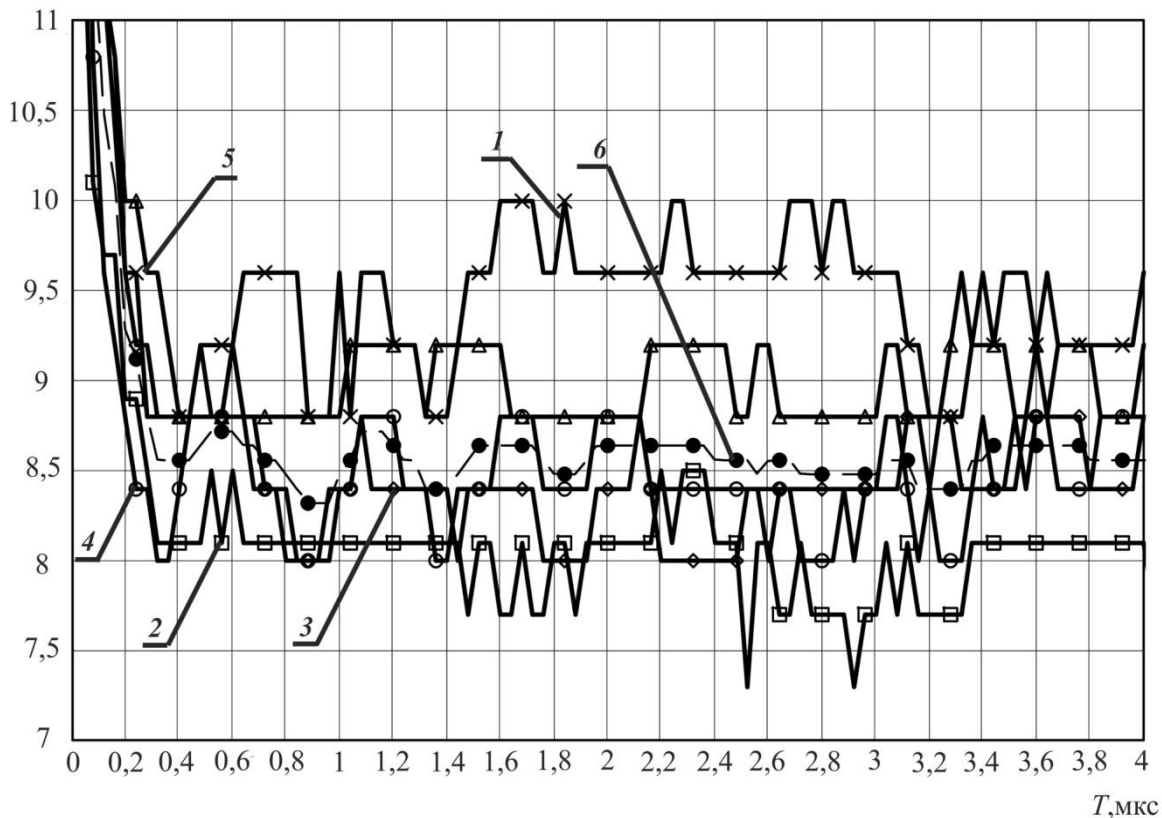


Рисунок 3 – Залежності напруги на розряді від часу:
1– U_{p1}, B ; 2– U_{p2}, B ; 3– U_{p3}, B ; 4– U_{p4}, B ; 5– U_{p5}, B ; 6– U_{p_cp}, B

$I_{p1}-I_{p5}, A$
 I_{p_cp}, A

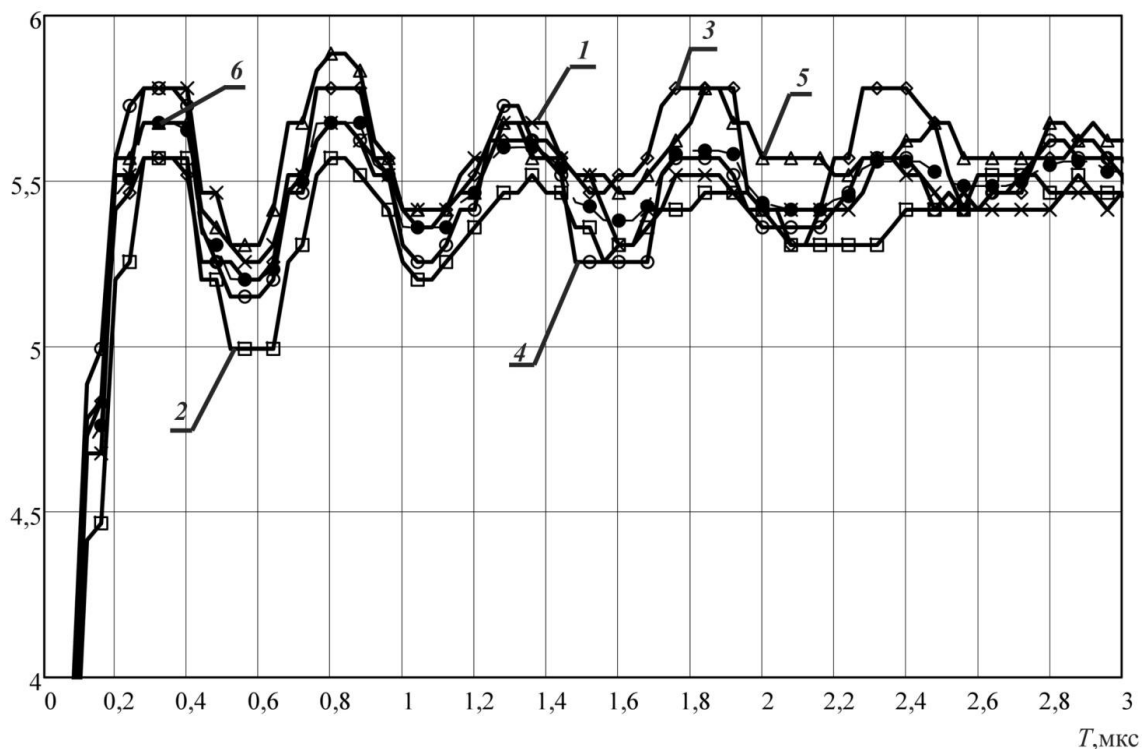


Рисунок 4 – Залежності струму розряду від часу:
1– I_{p1}, A ; 2 – I_{p2}, A ; 3 – I_{p3}, A ; 4 – I_{p4}, A ; 5 – I_{p5}, A ; 6 – I_{p_cp}, A

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Час досягнення 95% від встановлених значень напруги (крива 6, рис. 3) і струму розряду (крива 6, рис. 4) становить 0,2-0,3 мкс. Отже, з огляду на експонентний закон зміни напруги, постійна часу встановлення напруги на розряді τ становить 67-100 нс. Причому значення τ не залежить від напруги кола, що підтверджено експериментально аналогічними дослідженнями при напругах 50 В і 70 В. Аналіз залежностей (рис. 3) дає підставу припускати, що зміна напруги розряду в часі підпорядковується експоненціальному закону:

$$U_p(T) = ae^{bT} + c. \quad (3)$$

За допомогою вбудованих функцій пакету MathCAD масив усереднених значень напруги на розряді U_{p_cp} , апроксимований за допомогою експоненційної регресії виду (3). Знайдено коефіцієнти апроксимації: $a=21$ В; $b= -34$ нс⁻¹; $c=8,9$ В і оцінений коефіцієнт кореляції: 0,96. Лістинг програми наведено на рис. 5.

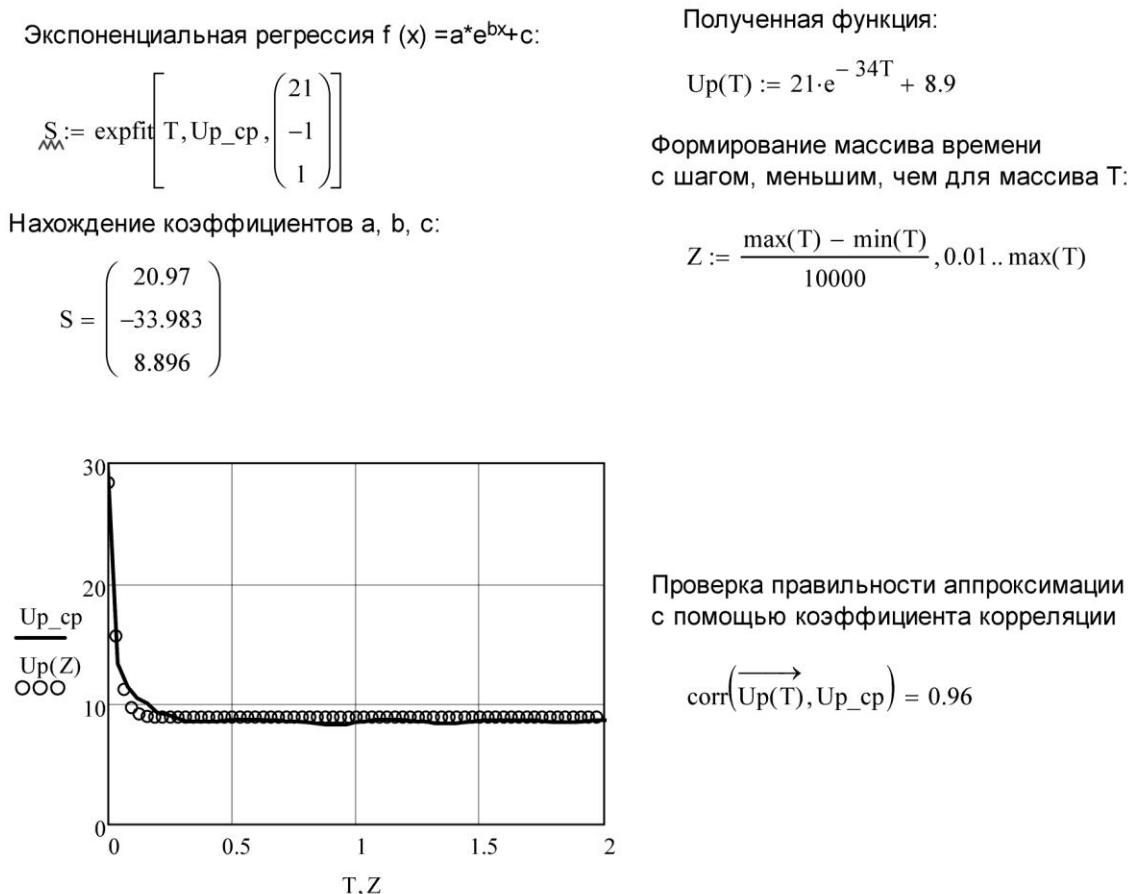


Рисунок 5 – Лістинг програми апроксимації напруги на розряді за допомогою експоненційної регресії

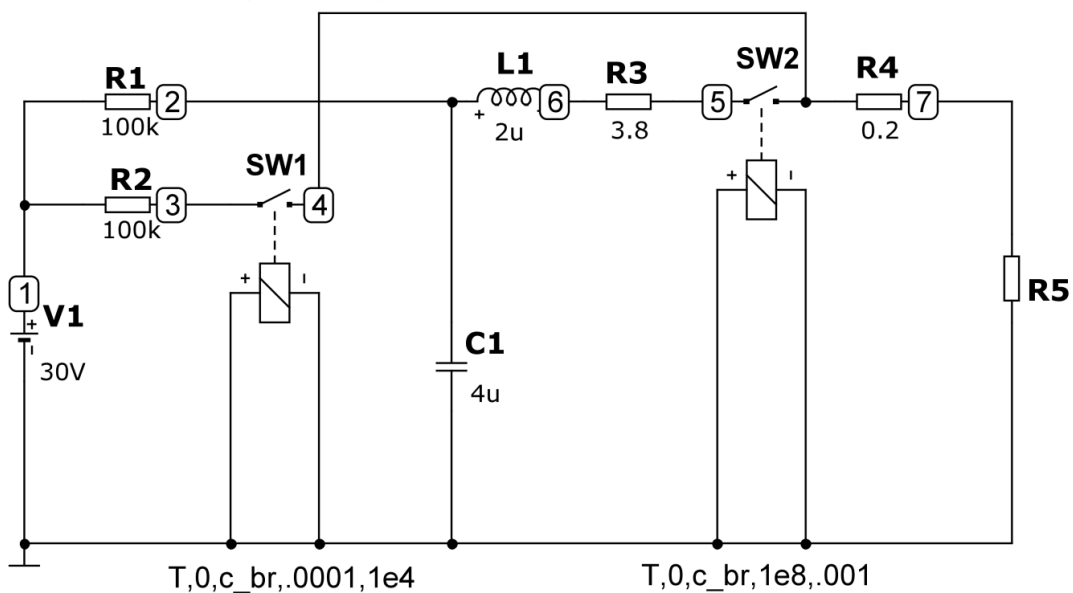
Точність оцінки іскробезпеки ємкісних кіл розрахунковим методом [5] в повній мірі залежить від параметрів моделі розряду, заснованої на зміні опору розряду в часі $R_p(T)$ за експоненціальним законом і на незмінності напруги на розряді в сталому режимі. Рівняння зміни опору розряду в часі $R_p(T)$ з уточненими параметрами:

$$R_p(T) = \frac{(U_{\text{БП}} - 8,9)e^{-34 \times 10^9 T} + 8,9}{I_p(T)}, \text{ В} \quad (4)$$

де $R_p(T)$ – миттєві значення опору розряду, Ом; $U_{\text{БП}}$ – напруга кола, В; $I_p(T)$ – миттєві значення струму в розряді, А; T – час, с.

Основні елементи та співвідношення комп'ютерного моделювання розряду ємнісного іскробезпечного кола в пакеті MicroCAP [12] за методом [5] з урахуванням (4) наведено на рис. 6.

```
.OPTIONS ITL4=50
.define PD if(abs(I(R5))<500m OR T<c_br,0,I(R5)*V(R5))
.define Wr SD(PD)
.DEFINE c_br 10u
.MODEL S1 VSWITCH (RON=0.01)
```



```
R5: if(T<c_br, 1e10,((v(v1)-8.9)*exp(-34e9*(T-c_br))+8.9)/I(R4))
```

Рисунок 6 – Моделювання розряду ємнісного іскробезпечного кола

Ключ $SW2$ в початковому стані розімкнутий, що забезпечує заряд конденсатора $C1$ до напруги джерела живлення $V1$. Перехідний процес запускається в момент замикання ключа (через 10 мкс, рис. 6). У колі розряду конденсатора $C1=4$ мкФ присутній опір $R3=3,8$ Ом та індуктивність, наприклад, $L1=2$ мкГн. Опір $R1 = 100$ кОм обмежує струм джерела живлення $V1$. Ключ $SW1$ в початковому стані замкнутий, що забезпечує наявність напруги холостого ходу джерела живлення $V1$ на моделі розряду перед запуском перехідного процесу. Резистор $R4$ визначає опір проводів, виводів елементів і т.д. Модель $R5$ показує зміну в часі опору розрядного проміжку (4), яке, в свою чергу, залежить від параметрів розрядного контуру. За результатами розрахунку перехідних процесів схеми, наведеної на рис. 6, побудовані залежності основних параметрів розряду замикання (рис. 7) від часу.

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА
НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

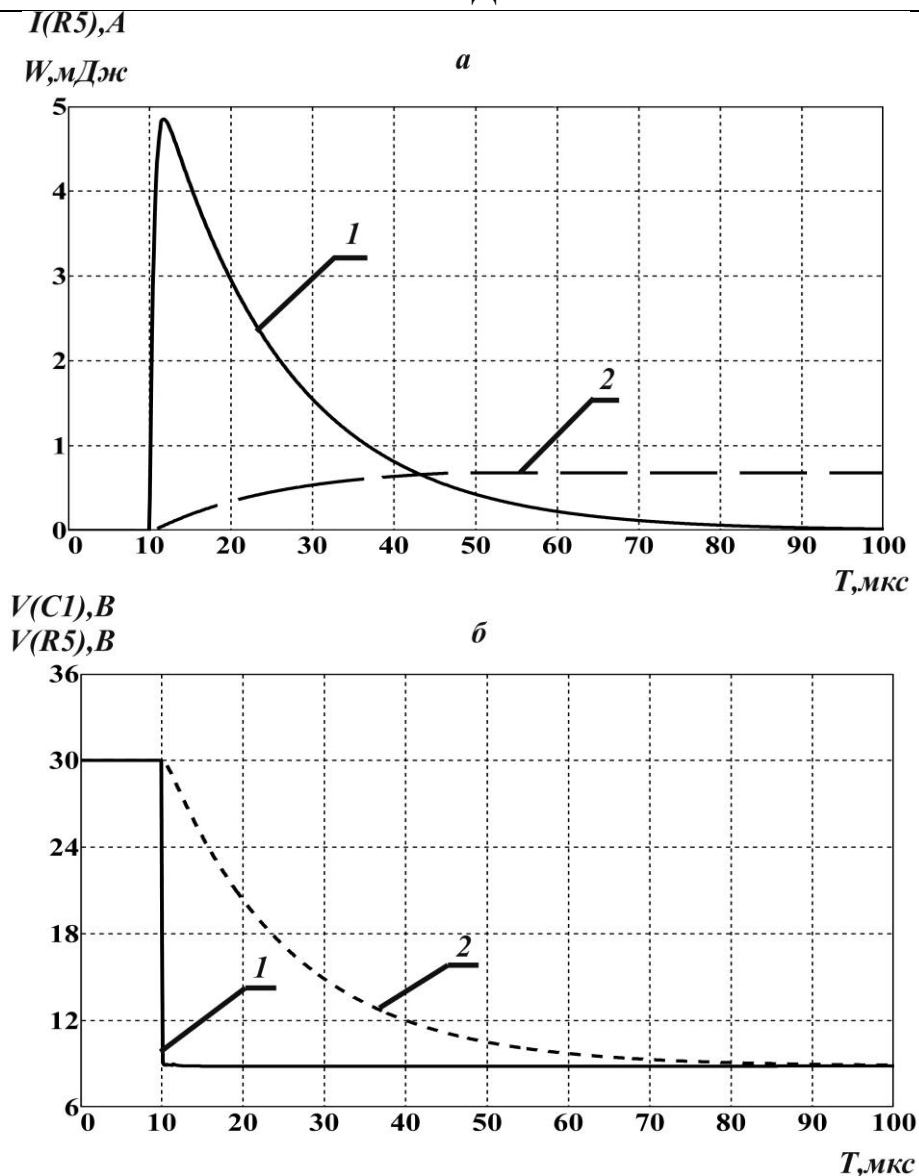


Рисунок 7 – Залежності основних параметрів розряду замикання від часу

На рис. 7, а $I(R5)$ – струм розряду через резистор R5, А (крива 1); W – енергія розряду, мДж (крива 2). На рис. 7, б $V(R5)$ – напруга на розряді (крива 1), В; $V(C1)$ – напруга на конденсаторі C1 крива 2), В; T - час, мкс.

Початкова напруга на розряді падає від значення напруги джерела V1 (рис. 6) до встановленої напруги 8,9 В по експоненті з постійною часу 29 пс (крива 1, рис. 7, б). При цьому забезпечується умова виділення в розряді всієї енергії, яка була накопичена в конденсаторі [8]. Підрахунок енергії розряду W здійснюється безперервно (крива 2, рис. 7, а) до значення струму розряду $I(R5)=500$ мА. Розрахунок часу розряду рекомендується здійснювати, вимірюючи відносний час сплеску кривої $I(R5)$ між початком її зростання і величиною струму обриву розряду (за звичайно приймається в діапазоні від 3 до 20 мА). Правомірність використання уточненої математичної моделі доводиться зіставленням розрахункових і експериментальних значень енергії розряду W , тривалості розряду T_p і максимального струму розряду I_{max} при струмі обриву іскри 0,5 А та $R3=3,8$ Ом (табл. 2).

**ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА
НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ**

Таблиця 2 – Результати розрахунку та експерименту

E, В	C1, мкФ	L1, мкГн	Експериментальні криві			Уточнена модель			Модель [8]		
			W, мкДж	T _p , мкс	I _{max} , А	W, мкДж	T _p , мкс	I _{max} , А	W, мкДж	T _p , мкс	I _{max} , А
30	4	0	715	39	5,1	680	38	5,3	745	36	4,8
50	4	0	1430	49	10	1397	48,3	10,4	1619	47,5	9,8
70	4	0	2150	55	15,3	2117	54,7	15,4	2493	54	14,8
30	4	2	680	39	5	680	37,6	4,9	748	35,9	4,4
50	4	2	1428	49,3	9,2	1390	47,8	9,4	1623	47	8,9
70	4	2	2150	55	14	2100	54	14	2498	53,4	13,5

ВИСНОВКИ. Аналіз результатів експериментальних досліджень розряду замикання при різних напругах кіл показав відсутність залежності основних параметрів розряду – рівня і часу встановлення напруги на розряді від напруги кола. Це дозволяє врахувати отримані значення даних параметрів в математичній моделі розряду ємнісного іскробезпечного кола відомого розрахункового методу оцінки іскробезпеки і забезпечити похибку результатів моделювання і експериментальних даних не більше 5%. При цьому похибка до уточнення моделі досягала 16-20%. Все це характеризує уточнений метод розрахункової оцінки іскробезпеки ємнісних кіл як більш достовірний. Застосування уточненого методу при оцінці електричних кіл при розробці іскробезпечного устаткування для шахт, небезпечних за газом, значно скорочує терміни його впровадження з більш достовірним дотриманням параметрів іскробезпеки і тим самим призводить до зниження ризику виникнення вибуху.

ЛІТЕРАТУРА

1. Жданкин В.К. Вид взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь». *Современные технологии автоматизации*. 1999. № 2. С. 72–83.
2. Кравченко В.С., Серов В.И., Ерыгин А.Т., Погорельский А.Е. Искробезопасность электрических цепей. Москва: Наука, 1976. 206 с.
3. Жданкин В.К. Взрывоопасные зоны, сравнение видов взрывозащиты. *Современные технологии автоматизации*. 2000. № 1. С. 66–73.
4. IEC 60079-11:2011. Explosive atmospheres - Part 11: Equipment protection by intrinsic safety "i". 2011. 120 p.
5. Бершадский И.А., Дубинский Ал.А. Тестирование метода бескамерной тепловой оценки искробезопасности схемы источника питания. *Взрывозащищенное электрооборудование: Сб. научных трудов УкрНИИВЭ*. 2011. С. 230–240.
6. Диденко В.П. Расчетная оценка искробезопасности емкостных цепей. *Взрывозащищенное электрооборудование: Сб. научных трудов УкрНИИВЭ*. 2009. С. 258–266.
7. Ерыгин А.Т., Шатило А.Н., Трембицкий А.Л. О расширении области применения бескамерной оценки искробезопасности электрических цепей. *Горный информационный аналитический бюллетень*. 2002. № 12 С. 202–205.

8. Ерыгин А.Т., Трембицкий А.Л., Яковлев В.П. Методы оценки искробезопасности электрических цепей. Москва: Наука, 1984. 256 с.
9. Диденко В.П. Современные подходы к оценке и обеспечению искробезопасности электрических цепей. *Уголь Украины*. 2007. № 9. С. 39–42.
10. Коган Э.Г. Способы и средства обеспечения искробезопасности рудничного электрооборудования. Москва: Недра, 1988. 101 с.
11. Очков В.Ф. Mathcad14 для студентов, инженеров и конструкторов. Спб. БХВ-Петербург, 2007. 368 с.
12. Амелина М.А., С.А Амелин С.А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap версии 9, 10. Смоленск: НИУ МЭИ, 2012. 617 с.

ESTIMATION OF CAPACITIVE CIRCUITS OF INTRINSIC SAFE EQUIPMENT FOR GASEOUS MINES

A. Mnukhin

State Engineering Academy Zaporozhe
prosp. Soborny, 226, Zaporozhe, 69006, Ukraine.
E-mail: anatoly.mnukhin@gmail.com

A. Gladkov

DP PKF «SHATL»
vul. Tbilisskaya, 11, Krivoi Rog, 50005, Ukraine. E-mail: gladkov55@ukr.net

Purpose. The use of calculation methods for estimation of intrinsic safety of capacitive circuits is first preference in relation to experimental approaches. However, parameters established in mathematical model of calculation method do not consider the results of earlier experimental studies in full. As a result one can observe substantial imprecision between modeling and measured data. Therefore the purpose of this research paper is the accuracy increase of known calculation method for assessment of intrinsic safety of capacitive circuits due to specification and verification of parameters of its discharge model. **Methodology.** The results of experimental studies became a basis for determining and specification of main parameter of improved mathematical model of discharge in relation to time constant of voltage setup on discharge τ and set voltage value on discharge. **Results.** The experimental determination of main parameters of improved mathematical discharge model made it possible to increase the reproducibility of modeling results in relation to experimental data. Uncertainty of results of improved model modeling in experimental data does not exceed 5%. Herewith the uncertainty by determination of discharge parameter determination by means of modeling with not specified known calculation method for intrinsic safety assessment and experiment was about 16-20%. **Originality.** For the first time the absence of dependence between the main discharge parameters – level and time of voltage setup and circuit voltage is proved. **Conclusions.** The use of improved method for assessment of electric circuits of intrinsic safe equipment being developed for gaseous mines reduces significantly the time of its implementation with more exact following the parameters of intrinsic safety and leads therefore to risk reduction of an explosion. References 12, tables 2, figures 7.

Key words: coal industry, calculation methods, intrinsic safety assessment, discharge energy, reliability of results.

REFERENCES

1. Zhdankin, V.V. (1999), “Vid vzryvozashchity ‘iskrobezopasnaya elektricheskaya tsep’”. [Explosion protection of type ‘intrinsic safe electric circuit’]. *Sovremennyye tekhnologii avtomatizatsii. [Modern automation technologies]*. № 2. pp. 72-83.
2. Kravchenko, V.S., Serov, V.I., Erygin, A.T., Pogorelsky, A.E. (1976), “Iskrobezopasnost' elektricheskikh tsepey”. [Intrinsic safety of electric circuits]. Moscow: Nauka Publ., 206 p.
3. Zhdankin, V.K. (2000), “Vzryvoopasnyye zony, sravneniye vidov vzryvozashchity”. [Explosion-hazard areas, comparison of explosion safety types]. *Sovremennyye tekhnologii avtomatizatsii. [Modern automation technologies]*. № 1. p. 66–73.
4. IEC 60079-11:2011. Explosive atmospheres - Part 11: Equipment protection by intrinsic safety ‘i’. 2011. 120 p.
5. Bershadsky, I.A., Dubinsky, Al.A. (2011), “Testirovaniye metoda beskamernoy teplovoy otsenki iskrobezopasnosti skhemy istochnika pitaniya” [Testing of method for cageless thermal assessment of intrinsic safety of power source scheme]. *Vzryvozashchishchennoye elektrooborudovaniye: Sb. nauchnykh trudov UkrNIIVE [Explosion safe electrical equipment: collection of research papers of UkrNIIVE]*. p. 230–240.
6. Didenko, V.P. (2009), “Raschetnaya otsenka iskrobezopasnosti yemkostnykh tsepey”. [Estimation of intrinsic safety of capacitive circuits]. *Vzryvozashchishchennoye elektrooborudovaniye: Sb. nauchnykh trudov UkrNIIVE [Explosion safe electrical equipment: collection of research papers of UkrNIIVE]*. p. 258–266.
7. Erygin, A.T., Shatilo, A.N., Trembitsky, A.L. (2002), “O rasshirenii oblasti primeneniya beskamernoy otsenki iskrobezopasnosti elektricheskikh tsepey”. [Concerning the increasing scope for cageless thermal assessment of intrinsic safety of electric circuits]. *Gornyy informatsionnyy analiticheskiy byulleten'.* № 12, p. 202–205.
8. Erygin, A.T., Trembitsky, A.L., Yakovlev, V.P. (1984), “Metody otsenki iskrobezopasnosti elektricheskikh tsepey”. [Assessment methods of intrinsic safety of electric circuits]. Moscow: Nauka Publ., 256 p.
9. Didenko, V.P. (2007), “Sovremennyye podkhody k otsenke i obespecheniyu iskrobezopasnosti elektricheskikh tsepey”. [Modern approach for assessment and provision of intrinsic safety of mine electrical equipment]. *Ugol Ukrainy.* № 9. p. 39–42.
10. Kogan, E.G. (1988), “Sposoby i sredstva obespecheniya iskrobezopasnosti rudnichnogo elektrooborudovaniya”. [Ways and means for provision of intrinsic safety of mine electric equipment]. Moscow: Nedra Publ., 101 p.
11. Ochkov, V.F. Mathcad 14 dlya studentov, inzhenerov i konstruktorov. [Mathcad for students, engineers and design engineers]. SPb. BHV-Peterburg, 2007. 368 p.
12. Amelina, M.A., Amelin, S.A. (2012), “Programma skhemotekhnicheskogo modelirovaniya Micro-Cap versii 9, 10.” [Program for circuit simulation Micro-Cap Version 9, 10]. Smolensk: NIU MEI, 617 p.

Стаття надійшла 25.12.2018.