

Ocena czułości i stałości właściwości iskiernika IEC jako ważny parametr przy badaniach urządzeń elektronicznych

W publikacji dokonano oceny czułości i stałości właściwości iskiernika IEC (znajdującego się na wyposażeniu laboratorium EMAG) jako ważnego parametru przy badaniach systemów, urządzeń elektrycznych i elektronicznych. Iskiernik IEC jest urządzeniem do badania poziomu iskrobezpieczeństwa obwodów elektronicznych i elektrycznych urządzeń pracujących w atmosferach wybuchowych występujących w przemyśle wydobywczym (metan), chemicznym i petrochemicznym (wodór, acetylen, propan butan itp.) w celu zapewnienia bezpieczeństwa przeciwwybuchowego.

słowa kluczowe: iskiernik, czułość, minimalny prąd zapalający.

1. WPROWADZENIE

Problemem iskrobezpieczeństwa oraz techniką iskrobezpieczeństwa od samego początku zajmowały się instytuty naukowo-badawcze związane z górnictwem węglowym, takie jak Główny Instytut Górnictwa – Kopalnia Doświadczalna Barbara czy Instytut Technik Innowacyjnych EMAG. Instytuty te prowadziły podstawowe badania w zakresie wybuchowości atmosfery kopalnianej oraz koncentrowały się nad opracowaniem zasad konstrukcji urządzeń elektrycznych w wykonaniu przeciwwybuchowym. Zagadnienie to było również przedmiotem uwagi światowych organizacji zajmujących się bezpieczeństwem w strefach zagrożonych wybuchem [4].

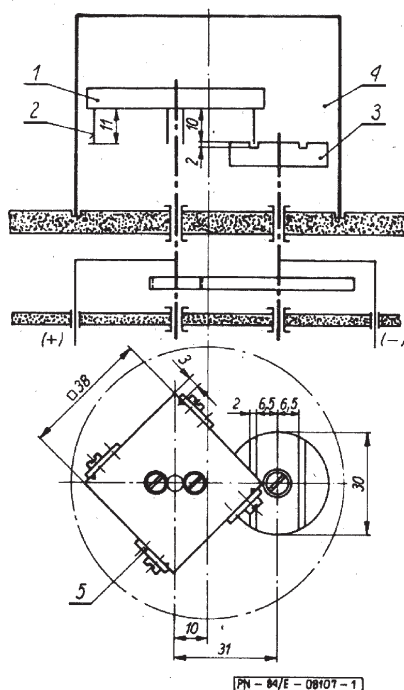
W górnictwie światowym nadal obserwuje się niski poziom opanowania zagrożenia gazami wybuchowymi (metanu) w kopalniach węgla kamiennego (Ukraina, Rosja, Chiny, Mongolia, Polska), czego dowodem są katastrofalne w skutkach wybuchy metanu. Nadal wzrasta emisja metanu w wyrobiskach górniczych wynikająca m.in. ze stałego wzrostu koncentracji wydobywania. Wzrost zagrożenia metanowego obserwuje się również w Polsce. Rozwój elektroniki oraz konieczność wprowadzenia automatyki i monitoringu do kopalń spowodowały dynamiczny rozwój urządzeń iskrobezpiecznych.

Czułość oraz stałość właściwości iskiernika IEC zostały ustalone na podstawie jego badań statystycznych niezawodności. Iskiernik jest mechanicznym urządzeniem pomiarowym i jego precyzja wykonania w znacznym stopniu wpływa na jego czułość (wykonanie styków, elementów obracających się, wykonanie elektrod kadmowych i wolframowych itp.). Czynnikiem decydującym o czułości, a zarazem jakości wykonania iskiernika jest uzyskanie odpowiednio minimalnych prądów zapalających zgodnie z normą PN-EN 60079-11.

2. ISKIERNIK IEC

Iskiernik IEC jest urządzeniem pomiarowym wykorzystywanym do badań urządzeń elektrycznych i elektronicznych mających wpływ na bezpieczeństwo urządzeń pracujących w atmosferach wybuchowych. Ze względu na grupę I lub II [5] i rodzaj obwodu elektrycznego stosowane są różne metody badań. Kontrola iskrobezpieczeństwa obwodu iskrobezpiecznego odbywa się według wymagań norm (PN-EN 60079-0 pt: *Atmosfery wybuchowe. Cz. 0: Urządzenia – Podstawowe wymagania*; PN-EN 60079-11 pt: *Atmosfery wybuchowe. Cz. 11: Zabezpieczenie urządzeń za pomocą iskrobezpieczeństwa „i”*).

Praktycznie wszystkie światowe i krajowe stacje badawcze przyjęły do powszechnego stosowania iskiernik IEC (rys. 1), który jest uniwersalnym urządzeniem wskazanym do badania obwodów iskrobezpiecznych RLC. Iskiernik ten jest zalecany przez Międzynarodową Komisję Elektrotechniczną. Został on opracowany w RFN w 1961 r. i wprowadzony do stosowania normą VDE 0170 d/017 i d/2.65 [1] jako obowiązujący przyrząd do badań iskrobezpieczeństwa.



Rys 1. Układ elektrod iskiernika IEC [5].
1,5 – uchwyt elektrod wolframowych, 2 – elektroda wolframowa, 3 – elektroda kadmowa, 4 – komora

Podstawowe dane iskiernika są następujące:

- cztery elektrody wolframowe, jedna elektroda kadmowa;
- prędkość obrotowa tarczy z elektrodami wolframowymi – 80 obr./min;
- stosunek prędkości obrotowej tarczy z elektrodami wolframowymi do tarczy kadmowej – 50:12;
- objętość komory z mieszaniną wybuchową – przynajmniej 250 cm³;
- pojemność obwodów własna przy rozwartych elektrodach – nie większa niż 30 pF;
- indukcyjność obwodu własna przy zwartych elektrodach – nie większa niż 3 μH;
- dopuszczalne prądy nie mogą przekroczyć 2 A w stanie normalnym, powyżej tego prądu należy zmodyfikować iskiernik, stosując między innymi grubsze elektrody wolframowe.

Iskiernik IEC jest obecnie najbardziej rozpowszechnionym przyrządem wykorzystywanym przy badaniach urządzeń i obwodów iskrobezpiecznych, linii iskrobezpiecznych itp.

3. KONTROLA CZUŁOŚCI I STAŁOŚCI WŁAŚCIWOŚCI ISKIERNIKA

Wprowadzenie iskiernika IEC do stosowania wymaga zbadania czułości oraz powtarzalności wykonywanych pomiarów w celu lepszego poznania przyrządu pomiarowego.

Istotnym parametrem iskiernika jest uzyskanie najmniejszej wartości minimalnego prądu zapalającego I_{zm} [2, 3]. Prąd ten jest różny w zależności od parametrów obwodu kontrolnego prądu stałego, np. dla obwodu indukcyjnego przy 24 V, w skład którego wchodzi indukcyjność od 95 do 100 mH, minimalny prąd zapalający wynosi 110 mA. Jest on także zależny od mieszaniny probierczej, która jest różna dla grup i podgrup urządzeń [1].

Czułość iskiernika zależy od wielu czynników:

- rodzaju i zestawu elektrod (najczulszymi okazały się cztery elektrody wolframowe i jedna tarczowa elektroda kadmowa),
- ustawienia i poprawności zabudowy elektrod wolframowych,
- parametrów obwodu kontrolnego (dokładność wykonania styków itp.).

Powtarzalność pomiarów zależy od:

- mieszaniny wybuchowej wprowadzanej do komory,
- dokładności wykonania iskiernika (zachowanie jego parametrów w czasie),
- ustawienia drutów wolframowych (czy są proste, wygięte, czy zostały odpowiednio przecięte).

Czułość iskiernika zbadano na podstawie analizy iskiernika znajdującego się w Instytucie EMAG. Został on zaprojektowany i wykonany zgodnie z zaleceniami normy PN-EN 60079-11 przez pracowników Instytutu.

Badania prowadzono przez 40 kolejnych dni dla standardowego obwodu indukcyjnego o następujących parametrach:

- napięcie 24 V,
- indukcyjność 95 mH,
- prąd 110 mA, 107,5 mA, 105 mA, 102,5 mA, 100 mA.

Wyniki badań przedstawiono w tab. 1.

Tabela 1.

Zależność prawdopodobieństwa p od prądu I dla standartowego obwodu indukcyjnego

	110 mA		107,5 mA		105 mA		102,5 mA		100 mA	
	p^*	m/n	p^*	m/n	p^*	m/n	p^*	m/n	p^*	m/n
seria 1	0,0943	20 / 212	0,0402	14 / 348	0,0246	14 / 568	0,0070	14 / 1991	0,0034	14 / 4089
seria 2	0,1042	20 / 192	0,0407	14 / 344	-	-/-	-	-/-	-	-/-
seria 3	0,1031	20 / 194	0,0358	14 / 391	0,0274	14 / 511	-	-/-	-	-/-
seria 4	0,1143	20 / 175	0,0419	14 / 334	-	-/-	0,0066	14 / 2119	-	-/-
seria 5	0,0870	20 / 230	0,0401	14 / 349	0,0250	14 / 560	-	-/-	-	-/-
seria 6	0,0935	20 / 214	0,0439	14 / 319	-	-/-	-	-/-	0,0033	14 / 4298
seria 7	0,1105	20 / 181	0,0426	14 / 329	0,0261	14 / 536	0,0066	14 / 2112	-	-/-
seria 8	0,1000	20 / 200	0,0390	14 / 359	-	-/-	-	-/-	-	-/-
seria 9	0,1205	20 / 166	0,0420	14 / 333	0,0297	14 / 471	-	-/-	-	-/-
seria 10	0,0823	20 / 243	0,0427	14 / 328	-	-/-	0,0064	14 / 2178	-	-/-
seria 11	0,0913	20 / 219	0,0447	14 / 313	0,0278	14 / 504	-	-/-	0,0035	14 / 3979
seria 12	0,1058	20 / 189	0,0414	14 / 338	-	-/-	-	-/-	-	-/-
seria 13	0,1156	20 / 173	0,0419	14 / 334	0,0265	14 / 529	0,0067	14 / 2087	-	-/-
seria 14	0,0939	20 / 213	0,0439	14 / 319	-	-/-	-	-/-	-	-/-
seria 15	0,1183	20 / 169	0,0390	14 / 359	0,0320	14 / 437	-	-/-	-	-/-
seria 16	0,0897	20 / 223	0,0397	14 / 353	-	-/-	0,0070	14 / 1992	0,0035	14 / 3970
seria 17	0,0926	20 / 216	0,0401	14 / 349	0,0238	14 / 589	-	-/-	-	-/-
seria 18	0,0840	20 / 238	0,0426	14 / 329	-	-/-	-	-/-	-	-/-
seria 19	0,0939	20 / 213	0,0393	14 / 356	0,0257	14 / 544	-	-/-	-	-/-
seria 20	0,0995	20 / 201	0,0420	14 / 333	-	-/-	0,0066	14 / 2109	0,0032	14 / 4420
$\frac{\sum m}{\sum n}$	0,0985	400 / 4061	0,0411	280 / 6817	0,0267	140 / 5249	0,0067	98 / 14588	0,0034	70 / 20756

gdzie:

n – liczba obrotów tarczy z elektrodami wolframowymi,

m – liczba zainicjowanych wybuchów,

$p = \frac{m}{n}$ – prawdopodobieństwo zapalenia mieszaniny wybuchowej.

Powyższa tabela ukazuje, jak zmienia się prawdopodobieństwo wywołania wybuchu przy zmianie natężenia prądu obwodu kontrolnego. Przy obniżeniu prądu o 10% prawdopodobieństwo zapalenia mieszaniny wybuchowej spada blisko trzydziestokrotnie. Dlatego też tak ważne jest sprawdzanie czułości iskiernika przed każdym badaniem odpowiednim układem testowym (24 VDC / 110 mA DC i 95 mH). Obliczenie minimalnych prądów zapłonu jest bardziej skomplikowane, gdyż należy obliczyć krzywą wzorcową iskiernika (rys. 2), uwzględniając niepewność pomiaru.

Poniżej przedstawiono wzory [1] niezbędne do wyznaczenia prostej:

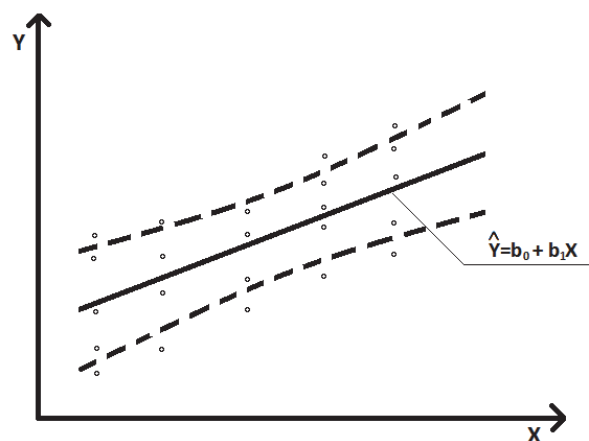
$$X = \log I \quad (1)$$

$$Y = \log p \quad (2)$$

$$b_1 = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum(X_i - \bar{X})^2} \quad (3)$$

$$b_1 = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum(X_i - \bar{X})^2} \quad (4)$$

$$b_0 = \bar{Y} - b_1 \bar{X} \quad (5)$$



Rys. 2. Krzywa wzorcowa iskiernika z uwzględnieniem niepewności pomiaru

Przedział ufności:

$$P\left(\frac{m}{n} - k\sqrt{\frac{\frac{m}{n}(1-\frac{m}{n})}{n}} < p < \frac{m}{n} + k\sqrt{\frac{\frac{m}{n}(1-\frac{m}{n})}{n}}\right)$$

gdzie:

k – współczynnik rozszerzenia, $k = 2$,

m – liczba zainicjowanych wybuchów (prób),
 n – całkowita liczba obrotów tarczy z elektrodami wolframowymi dla danej próby.
 (6)

Minimalne prądy zapalające I_{zm} dla badanego iskiernika wyniosły:

Minimalne prądy zapalające I_{zm} [mA]	Średni minimalny prąd zapalający $\overline{I_{zm}}$ [mA]
98,5; 101,5; 97,3; 99,7; 96,1; 98,6; 99,2; 101,3; 98,2; 99,2; 98,0; 101,2; 99,0; 99,4; 97,3; 98,6; 97,6	98,8

Jak można zaobserwować, minimalny prąd zapłonu jest niższy niż w typowym obwodzie kontrolnym. Wynika to z założenia liniowości krzywej wzorcowej oraz prawdopodobieństwa wystąpienia zapłonu mieszanki.

4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania wykazały, że iskiernik wykonany zgodnie z zaleceniami normy [5] i użytkowany przez Instytut EMAG jest bardzo czuły, z wysokim poziomem powtarzalności badań. Osiągnięte minimalne prądy zapalające I_{zm} oraz ich powtarzalność świadczą o wysokiej klasie przyrządu pomiarowego, czyniąc go konkurencyjnym w stosunku do obecnie stosowanych w innych instytutach. Przyrząd ten umożliwia wykonywanie badań zgodnych z procedurami badawczymi przedstawionymi w normie [5], dając pewność ich rzetelności.

Dalsze prace związane z iskiernikiem IEC w Instytucie EMAG będą polegały na przeprowadzeniu badań porównawczych (dla odpowiednio przygotowanego obwodu testowego – badanie iskrobezpiecznych zasilaczy [6]) z instytutami posiadającymi akredytację PCA w zakresie badań iskrobezpieczeństwa urządzeń elektrycznych oraz posiadającymi iskiernik IEC (GIG KD Barbara). Badania te są niezbędne do roz-

poczęcia procesu akredytacyjnego PCA przez Instytut EMAG.

Autor publikacji dziękuje prof. dr. hab. inż. Jerzemu Frączkowi i dr. inż. Piotrowi Cieślakowi za pomoc merytoryczną w zakresie tematyki, której poświęcony jest artykuł.

Literatura

- Frączek J.: *Aparatura przeciwwybuchowa w wykonaniu iskrobezpiecznym (Explosion-proof intrinsically safe apparatus)*, Śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice 1995.
- Frączek J.: *Metody analizy dopuszczalnych prądów bezpiecznych w iskrobezpiecznych urządzeniach kontrolno-pomiarowych (Methods for analyzing admissible safe currents in intrinsically safe control and measurement devices)*. W: *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Automatyka*, vol. 57, 1980.
- Frączek J.: *Podstawy oceny zagrożenia wybuchowego od urządzeń kontrolno-pomiarowych w wykonaniu iskrobezpiecznym w aspekcie stosowania iskiernika IEC (Assessment of explosion hazards from control and measurement intrinsically safe devices with respect to an IEC spark-gap)*. W: *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Automatyka*, vol. 38, 1977.
- Magison E.: *Electrical Instruments in Hazardous Locations*, ISA 4th Edition, 1998.
- PN/EN 60079-11:2012: *Atmosfery wybuchowe. Cz. 11: Zabezpieczenia urządzeń za pomocą iskrobezpieczeństwa „i” (PN/EN 60079-11:2012: Explosive atmospheres. Part 11: Equipment protection by intrinsic safety "i")*.
- Skoropacki W., Miśkiewicz K.: *Iskrobezpieczne zasilacze prądu stałego – stan obecny, perspektywy rozwoju (Intrinsically safe DC power supply – state of the art, development perspectives)*. „Mechanizacja i Automatyka Górnictwa”, nr 453, 2008.

Artykuł został zrecenzowany przez dwóch niezależnych recenzentów.