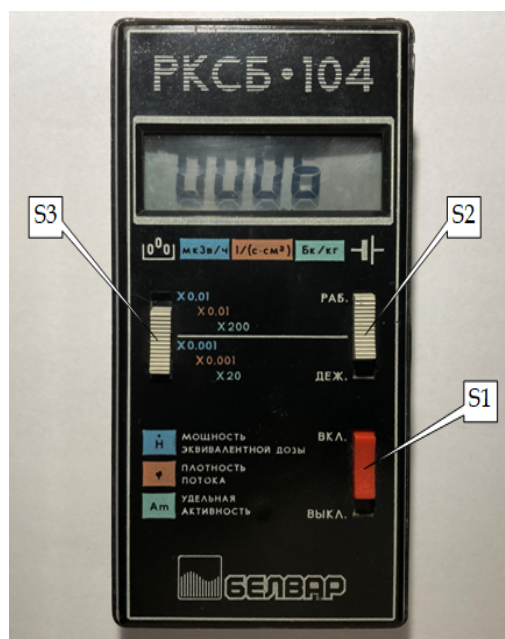


Pomiar Promieniowania Gamma

za pomocą dozymetru RKSБ-104"Radian" (РКСБ-104 Радян)

produkcji Białoruskiego Bielwar

działający na podstawie licznika Geigera-Müllera



Rys. 1. Dozometr RKSБ-104"Radian"

Za pomocą dozymetru RKSБ-104 można dokonywać pomiaru cząstek beta o energiach od 0,5 do 3 MeV i promieniowania gamma od 0,06 do 1,25 MeV. Oznacza to, że w skrajnym przypadku może się zdarzyć, że mierzony przez nas obiekt chociaż może być bardzo promieniotwórczy, to jego promieniowanie może nie zostać w ogóle przez nasz licznik zarejestrowane, jeśli energia promieniowania nie znajdzie się w przedziałach zakresów pomiarowych energii licznika.

Dozometr RKSБ-104 pozwala na zmierzenie trzech dozymetrycznych wielkości fizycznych:

1. moc połowego równoważnika dawki promieniowania gamma w [$\mu\text{Sv/h}$]
2. gęstość strumienia promieniowania beta z powierzchni w [$1/(\text{s} \cdot \text{cm}^2)$]
3. aktywność właściwą radionuklidu cezu-137 w przedmiotach w [Bq/kg].

Część znacząca wyświetlanej na ciekłokrystalicznym wyświetlaczu liczby, przy położeniu przełącznika S3 (przełącznik z lewej strony przedniej ścianki licznika) w górnym położeniu, wskazuje wielkość mocy ekspozycji na dawkę promieniowania gamma w mikrorentgenach na

godzinę ($\mu\text{R/h}$), mnożąc ten wynik przez współczynnik 0,01 otrzymamy rezultat w mikrosiwertach na godzinę ($\mu\text{Sv/h}$), o ile przełącznik S3 będzie w górnym położeniu.

Dla uzyskania dokładniejszych rezultatów i przy pomiarach źródeł wysyłających promieniowanie poniżej $10 \mu\text{Sv/h}$ przełączamy przełącznik S3 w dolne położenie i mnożymy wówczas wynik przez 0,001.

Miernik mierzy w trybie 18s, który dodatkowo można wydłużyć do 180s celem zwiększenia dokładności pomiaru. Dwie tuby typu SBM-20 rozstawione są szeroko, na podobną odległość jak w dozymetrze ANRI Sosna. Funkcje uszeregowane zostały zgodnie z częstością zastosowania.

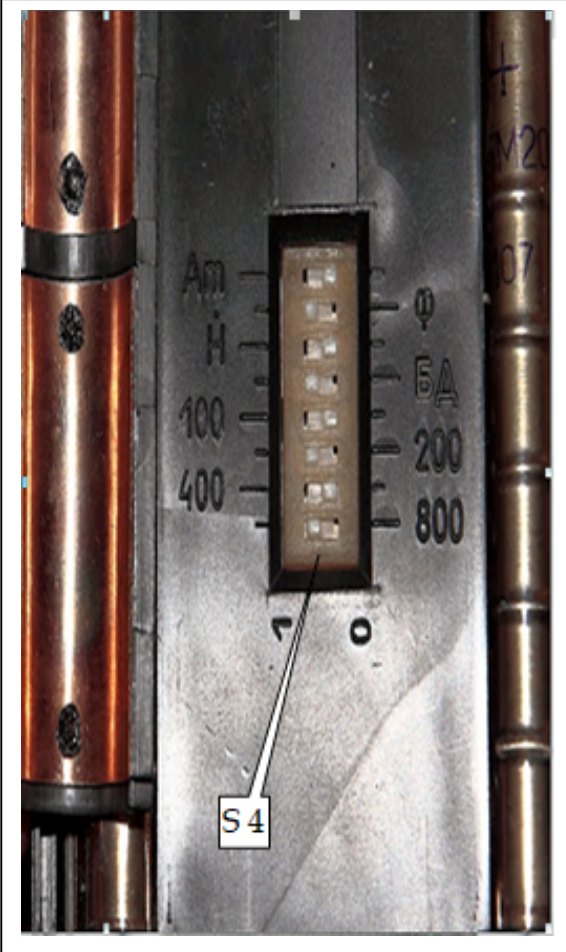
Teraz najciekawsza rzecz - zmiany trybu pracy dokonujemy za pomocą MIKROPRZEŁĄCZNIKÓW, umieszczonych na spodzie przyrządu, centralnie między tubami G-M, pod klapką z ekranami, używaną podczas pomiarów beta. Mikroprzełączniki są małe i zwykle przestawiają się po dwa na raz, jeśli usiłujemy je ustawić paznokciem.

1	0
	X
	X
X	
X	
dowolne	
dowolne	
dowolne	
dowolne	
1. Pomiar gamma	

1	0
X	
	X
	X
X	
dowolne	
dowolne	
dowolne	
dowolne	
3. Pomiar aktywności	

	X
X	
	X
X	
dowolne	
dowolne	
dowolne	
dowolne	
2. Pomiar beta	

	X
	X
X	
X	
ustaw próg wg tabeli i S2=деж	
4. Dozymetr progowy	



- **Am** - aktywność właściwa cezu-137 w produktach (Bq/kg)
- **φ** - strumień cząstek beta (rozp./s*cm²)
- **H** - moc równoważnika dawki promieniowania gamma ($\mu\text{Sv/h}$)
- **БД** - wyłączacz przetwornicę WN - do pracy z sondą zewnętrzną mającą własne zasilanie

Rys. 2. Mikroprzełączniki - ustalanie trybu pracy

Progi, których wartość można ustawić na **100, 200, 400, 800**, ustawiamy je tylko wtedy, gdy miernik pracuje jako dozymetr. Zasadniczo, tryb pomiaru zmienia się w/w mikroprzełącznikami, choć żeby włączyć dozymetr progowy, trzeba przesunąć dodatkowy przełącznik na front-panelu na pozycję **ДЕЖ**.

Miernik ma na panelu przednim (Rys. 1) trzy przyciski - czerwony to włącznik, jego przesunięcie na pozycję **БКЛ** włącza przyrząd i od razu rozpoczyna pomiar.

Nad nim znajduje się przełącznik trybu pracy - w położeniu **РАБ** dokonujemy pomiaru:

1. mocy **równoważnika** dawki (\dot{H}),
2. **strumienia** beta (ϕ) i **aktywności** cezu-137 (A_m).

Chcąc włączyć tryb dozymetru progowego, przesuwamy przycisk na pozycję **ДЕЖ**, ustawivszy wcześniej mikroprzełączniki pokazane na Rys.2.

Wyświetlacz ma cztery cyfry, ale uwaga, nie ma przecinków! Aby obliczyć wynik, trzeba wyświetlaną cyfrę pomnożyć przez 0,01 lub 0,001 w zależności od ustawienia suwaka czasu pomiaru.

- ustawienie **górne** suwaka - mnożnik **0,01**, czas pomiaru **18s**,
- ustawienie **dolne** - **0,001**, czas pomiaru **180s**.

Dla pomiaru mocy **równoważnika** dawki \dot{H} promieniowania gamma (Tryb 1) oraz **strumienia** beta ϕ (Tryb 2) mnożniki są te same. Zmieniają się tylko przy pomiarze **aktywności** cezu (Tryb 3) - dłuższy czas pomiaru oznacza mnożnik 20, krótszy czas pomiaru oznacza mnożnik - 200.

Na obudowie zaznaczono kolorami, która jednostka odpowiada któremu trybowi i jakie mnożniki należy stosować. Instrukcja nawet podaje *expressis verbis* (dobitnie), co to są "znaczące cyfry" wyświetlacza (chodzi o to, by pominąć początkowe zero, czyli 0100 = 100, 0009 = 9 itp.)

Miernik posiada gniazdo sondy zewnętrznej, do którego można też podłączyć głośnik. Dozymetr **ПКСБ-104** nie wydaje typowych "piknięć", a jedynie ciche "tykanie" podczas cyklu pomiarowego i donośny sygnał przy jego zakończeniu.



Rys. 3. Gniazdo sondy zewnętrznej ze zdjętą zaślepką.

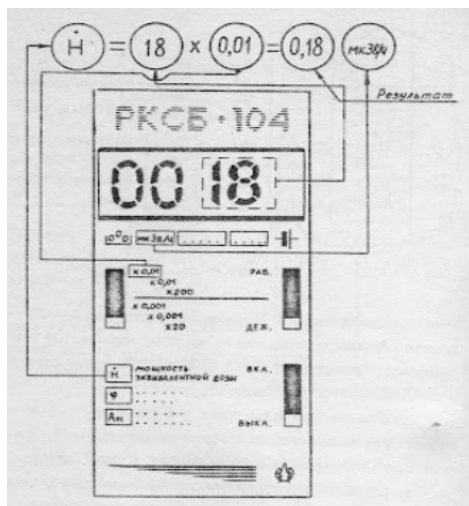
Głośność dźwięku można ustawić potencjometrem na płycie drukowanej. Po ok. 10s, pomiar rozpoczyna od nowa. W dłuższym trybie pomiaru, czas wyświetlania wyniku (i dźwięk dzwonka) wydłuża się. Klapka miernika ma cienkie blaszki miedziane, dlatego przy pomiarze emisji **beta** należy postawić miernik na zamkniętym pudełku, które daje dodatkową osłonę przed promieniowaniem beta. Od spodu dużo jest szczelin i innych otworów, którymi pył promieniotwórczy mógłby dostać się do środka - dwa otwory na rygle klapki i jeden na jej zatrzask oraz szczeliny wzdłuż tub G-M. Instrukcja podaje nawet sposób dekontaminacji (usunięciu i dezaktywacji substancji szkodliwej) miernika. Dozymetr РКСБ-104 jest miernikiem dla bardziej zaawansowanych dozymetrystów, niezbyt wygodny w użyciu, o dość specyficznym, ograniczonym zastosowaniu. Z drugiej strony na pewno znajdzie zastosowanie przy domowych pomiarach słabych źródeł, takich jak szkło, ceramika, płytki podłogowe, cegły, minerały itp. Najcenniejszą zaletą jest długi pomiar, z możliwością przełączenia na krótszy (jeśli nam się spieszy lub próbka jest bardziej aktywna).

POMIARY

Dozymetr РКСБ-104 jest w stanie mierzyć promieniowanie **gamma** i **beta**. Pomiaru promieniowania **beta** dokonujemy dopiero po zdjęciu tylnej klapki, która pełni rolę filtra dla promieniowania beta. Po zdjęciu klapki ukazują się dwie zabezpieczone folią tuby Geigera.

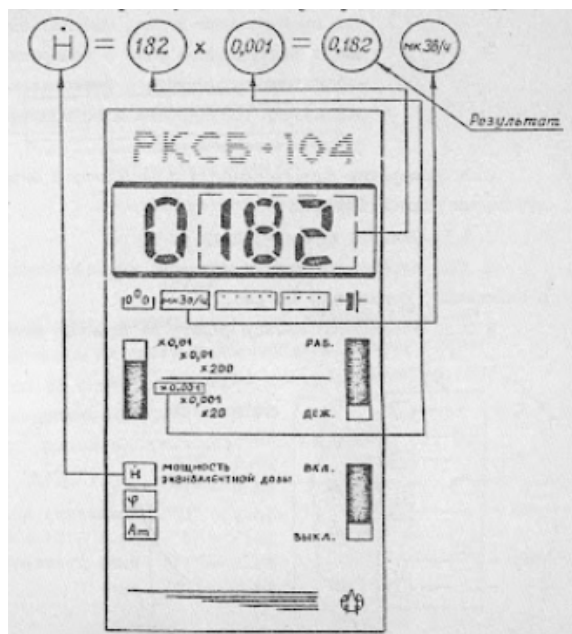
1. Pomiar promieniowania - bez uśredniania

W tym sposobie pomiaru, wynik jest rzeczywistą liczbą przyjętych cząstek promieniowania. Typowy i zalecany szybki pomiar trwa **18** sekund. W przypadku wykorzystania dwóch tub, należy tę wartość pomnożyć przez 2, co daje pomiar 36 sekund. Taki pomiar niestety bywa najmniej dokładny - granica błędu do 40%.



Rys. 4. Pomiar promieniowania - pomiar trwa 18 sekund

Pomiaru promieniowania **beta** dokonujemy dopiero po zdjęciu tylnej klapki, która pełni rolę filtru dla promieniowania beta. Po zdjęciu klapki ukazują się dwie zabezpieczone folią tuby Geigera. Jeśli się chce uzyskać dokładniejszy pomiar, możemy przesunąć zasuwkę, z lewej strony przedniego panelu dozymetru, do pozycji oznaczonej jako **X0.001** i wtedy czas pomiaru wydłuży się dziesięciokrotnie, więc pomiar, który standardowo trwał 18 sekundowy, wydłuży się do 180 s.



Rys. 5. Pomiar promieniowania - pomiar trwa 180 sekund

Zaczynamy typowy pomiar, po 18 sekundach (mnożnik x0.01) na wyświetlaczu pojawi się wynik. Przykładowo, niech to będzie 0010 (liczby znaczące - 10), który w przeliczeniu na mikrosiwerty da nam wartość dokładnie 0.10 $\mu\text{Sv/h}$.

Jeśli jednak czas pomiaru zwiększymy dziesięciokrotnie (mnożnik x0.001), to należy przecinek na odczycie przesunąć w lewo. I tak, jeśli wynik wtedy wyświetlony uzyska wartość np. jako 0110 (liczby znaczące - 110), to dawka w mikrosiwertach wynosi **0.11 $\mu\text{Sv/h}$** . Taki pomiar jest co prawda dłuższy, ale już bardziej dokładny,

Pomiar promieniowania dokonany w dniu 17.08.2019 roku, awaria w Rosji, po 18 sekundach (mnożnik x0.01) dał odczyt 0020, czyli **0.20 $\mu\text{Sv/h}$** .

Przy czasie pomiaru dziesięciokrotnie większym (mnożnik x0.001), otrzymano wskazania od 0180 do 0200 (cyfry znaczące 180 do 200), co daje wynik **0.18 $\mu\text{Sv/h}$ do 0.2 $\mu\text{Sv/h}$** .

Promieniowanie tła, określone w Tab. 3, wynosi 0,001mSv/h, czyli **1 $\mu\text{Sv/h}$**

Oprócz pomiaru 18 sekund są też inne jak: 28, 40 (280, 400 w zależności od ustawienia przełącznika z lewej strony dozymetru).

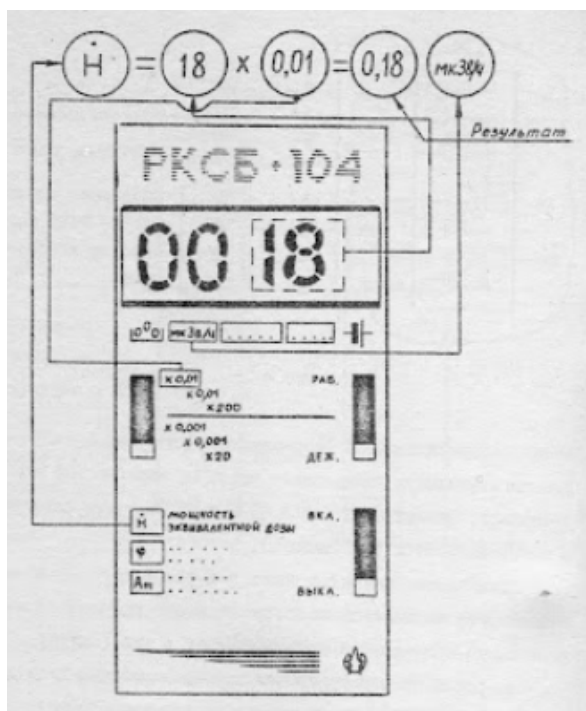
Kolejną ciekawą funkcją jest ustawienie dozymetru РКСБ-104, jako dawkomierza z wybraną granicą alarmową. Wtedy licznik działa bez przerwy i alarmuje, gdy dany próg zostanie przekroczony. Opcji jest więcej, ale wszystko zostało opisane w instrukcji. Należy też dodać, że kończenie pomiaru może być głośno alarmowane lub nie - wybór należy do nas.

Częsta informacja, jaką możemy znaleźć w sieci na temat właśnie РКСБ-104 jest to, że nie wydaje żadnego dźwięku, gdy zarejestruję jakąś cząstkę radioaktywną, a nie jest to do końca prawdą, choć bliską jej... Po przyłożeniu ucha do dozymetru usłyszymy ciche pikanie, szkoda jednak, że jest one bardzo ciche

2. Pomiar promieniowania gamma

W celu pomiaru mocy polowego równoważnika dawki promieniowania gamma należy po zdjęciu tylnej pokrywy-filtru 4 z licznika (Rys. 1.), przełączyć znajdujące się tam mikroprzełączniki S4 w położenia zgodnie z rysunkiem Rys. 2. (mikroprzełącznik S 4,8 (pierwszy od góry) w położeniu '0' (czyli na prawo), S 4,7 '0', S 4,6 '1', S 4,5 '1', S 4,4 '1', S 4,3 '0', S 4,2 '1', S 4,1 '0', położenia S4,1-S4,4 mogą być dowolne).

Następnie ponownie zakładamy filtr i przy przełączniku S3 i S2 w górnym położeniu włączamy urządzenie przełącznikiem S1. Przez ok. 27-28 s będzie odbywał się pomiar, po czym sygnałem dźwiękowym urządzenie powiadomi nas, że pomiar już się zakończył.



Rys. 6. Przykładowy odczyt i obliczenie wartości mocy polowego równoważnika dawki promieniowania gamma w $\mu\text{Sv/h}$

2. Pomiar promieniowania beta

Pomiar zanieczyszczenia powierzchni radionuklidami emitującymi cząstki beta jest już trochę bardziej skomplikowany. Po ustawieniu mikroprzełączników S4 w położenia: S 4,8 '0', S 4,7 '1', S 4,6 '0', S 4,5 '1', S 4,4 '0', S 4,3 '1', S 4,2 '1', S 4,1 '0' (położenia S4,1-S4,4 mogą być dowolne), ponownie zakładamy pokrywę-filtr. Ustawiamy S2 (tj. przełącznik z prawej strony przedniej ścianki licznika, na górze, nad włącznikiem licznika S1) i S3 w górnym położeniu.

Plastikowe pudełko, w którym jest przechowywany licznik nie służy tylko za opakowanie, ale też jest elementem wykorzystywanym w pomiarach. W celu dokonania pomiaru promieniowania beta emitowanego z powierzchni należy położyć licznik na tymże plastikowym pudełku (złożonym, tj. w pełni zamkniętym pokrywką) lub ewentualnie oddalić licznik od mierzonej powierzchni o 110-120 cm, po czym włączyć licznik przełącznikiem S1. Zapisujemy wynik, który stanowi wartość strumienia φ_1 . Wyłączamy licznik. Zdejmujemy tylną pokrywę-filtr i umieszczamy licznik ponownie nad tą samą mierzoną powierzchnią w odległości od niej nie większej niż 1 cm. Ponownie włączamy licznik przełącznikiem S1 i dokonujemy kolejnego pomiaru, uzyskując wartość strumienia φ_2 .

Wielkość zanieczyszczenia powierzchni nuklidami emitującymi promieniowanie beta, która charakteryzuje się wielkością wartości strumienia promieniowania beta z powierzchni (φ), obliczamy wg wzoru:

$$\varphi = K_1 * (\varphi_2 - \varphi_1) \text{ [s}^{-1} * \text{cm}^{-2}\text{]}$$

Współczynnik $K_1 = 0,01$ przy górnym położeniu S3.

Przykładowo można uzyskać taką wartość:

$$\varphi = 0,01(243 - 18) = 2,25 \text{ [1/(s*cm}^2\text{)]}$$

Strumień cząstek beta emitowany w ciągu minuty z cm^2 powierzchni obliczymy przemnażając wynik przez 60:

$$\varphi = 2,25 * 60 = 135 \text{ [beta-cząstek/(min*cm}^2\text{)]}$$

Dla uzyskania dokładniejszych wyników lub przy mierzeniu wielkości strumienia cząstek beta poniżej $10 \text{ 1/(s*cm}^2\text{)}$ tj. mniej niż 600 beta-cząstek na min*cm^2 możemy przestawić przełącznik S3 w dolne położenie, wówczas współczynnik K_1 wynosi 0,001, a jeden cykl pomiarowy trwa wtedy 175-185 s.

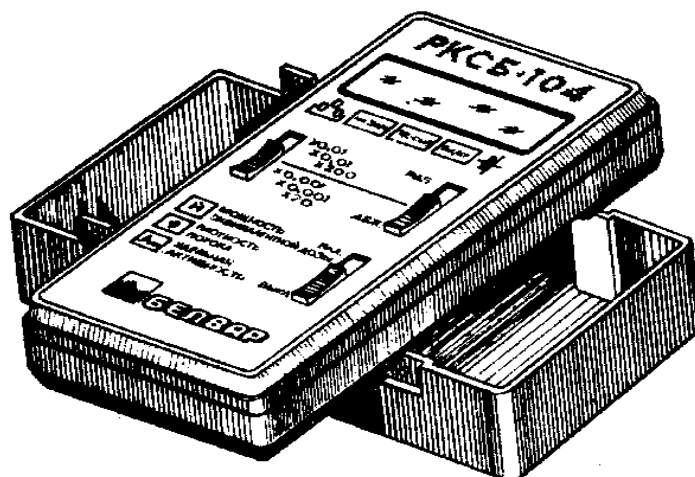
Warto przy tym zwrócić uwagę, że dozymetr RKSB-104 został wykalibrowany względem mieszaniny radionuklidów **stront-90** i **itr-90**, gdy chodzi o pomiar strumienia promieniowania beta z powierzchni i względem radionuklidu **cez-137**, gdy chodzi o pomiar mocy polowego równoważnika dawki promieniowania gamma.

Oznacza to, że przy pomiarach próbek minerałów radioaktywnych, które często stanowią mieszaninę różnych izotopów promieniotwórczych, należy zastosować inne współczynniki K_1 , których wartości, niestety, nie będziemy w stanie samodzielnie ustalić, a to znaczy, że **tak naprawdę zupełnie prawdziwych wartości w/w wielkości fizycznych promieniowania naszych minerałów nie będziemy w stanie obliczyć**. Ponadto różne usytuowanie licznika względem minerału (geometria pomiaru) oraz różne kształty minerałów również wpływają na wartość pomiaru. Czy jednak większość z nas potrzebuje znać dokładne wartości tych parametrów fizycznych? Zazwyczaj nie; chcemy przecież tylko wiedzieć jaka jest przybliżona dawka promieniowania znalezionych przez nas minerałów.

3. Pomiar aktywności właściwej radionuklidu Cs-137

Poniżej opisano, jak przy pomocy RKSB-104 uzyskać pomiary aktywności właściwej radionuklidu **cez-137**. W tym celu ustawiamy mikroprzełączniki w położeniach: S 4,8 '1', S 4,7 '0', S 4,6 '0', S 4,5 '1', S 4,4 '1', S 4,3 '0', S 4,2 '1', S 4,1 '0' (położenia S4,1-S4,4 mogą być dowolne). Ustawiamy S2 w górnym, a S3 w dolnym położeniu.

Wypełniamy połowę w/w plastikowego pudełka od licznika czystą, nieskażoną promieniotwórczo wodą (prawie do pełna, tzn. do lekkiego wgłębienia wykonanego w plastiku) i kładziemy licznik (ze zdjętą tylną pokrywą-filtrem) w poprzek tak wypełnionego wodą pudełka (Rys. 7.).



Rys. 7. Pozycja licznika podczas pomiarów aktywności właściwej radionuklidu cez-137.

Włączamy licznik przełącznikiem S1 i odczytujemy kolejnych 5 wskazań (A1, A2, A3, A4, A5). Dla przyspieszenia pomiaru, po każdym odczycie można licznik na chwilę wyłączyć i ponownie włączyć.

Obliczamy średnią arytmetyczną:

$$A=(A1+A2+A3+A4+A5)/5$$

Następnie wylewamy wodę z pudełka-kuwety i osuszamy je. Po osuszeniu napełniamy pudełko mierzonym roztworem do tego samego poziomu co poprzednio wodą. Powtarzamy w podobny sposób pomiary.

$$A'=(A1'+A2'+A3'+A4'+A5')/5$$

Wartość aktywności radionuklidu Cs-137 w Bq/kg uzyskujemy z wzoru:

$$Am=K_2*(A'-A)$$

K_2 - współczynnik równy 20 (przy dolnym położeniu S3).

Chcąc uzyskać wynik w kiurach na kg, przemnażamy otrzymaną wartość przez $2,7*10^{-11}$

$$Am=K_2*(A'-A)*2,7*10^{-11}$$

Przykładowo:

$$Am=20*(406,8-223,2)=3672 \text{ [Bq/kg]} * 2,7*10^{-11} = 9,9*10^{-8} \text{ [Ci/kg]}$$

Oczywiście tak jak poprzednio współczynnik K_2 będzie inny jeśli mierzonymi radionuklidami będą inne izotopy niż cez ^{137}Cs . Jeżeli podczas pomiaru wartości osiągnęte są tak duże, że nie mogą być przedstawione na wyświetlaczu (większe niż 9999), wówczas S3 przełączamy w górne położenie, a współczynnik K_2 wyniesie 200.

4. Licznik jako dozymetr osobisty

Licznik RKSB-104 może też pełnić rolę dozymetru pracującego w sposób ciągły i alarmujący o przekroczeniu pewnej ustalonej przez nas wartości. W tym celu zdejmujemy pokrywę-filtr 4 (Rys. 1.). Mikroprzełączniki ustawiamy zgodnie z położeniem pokazanym na Rys. 2. Celem ustawienia określonego progu, którego przekroczenie spowoduje alarm, ustawiamy przełącznik S3 i mikroprzełączniki zgodnie z Tabelą 1. Następnie pokrywę-filtr 4 ponownie umieszczamy na jej miejscu. Przełącznik S2 ustawiamy w dolnym położeniu i włączamy licznik. Po przekroczeniu ustawionego progu licznik zacznie wydawać nieprzerwany dźwiękowy sygnał.

Величина порога срабатывания сигнализации мкЗв/ч (мкР/ч)	Соответствующая порогу величина показаний индикатора	Положения S3	Положения S4				Величина порога срабатывания сигнализации мкЗв/ч (мкР/ч)	Соответствующая порогу величина показаний индикатора	Положения S3	Положения S4			
			S4.1	S4.2	S4.3	S4.4				S4.1	S4.2	S4.3	S4.4
			800	400	200	100				800	400	200	100
0,1 (10)	0100	Нижнее	1	1	1	1	1,3 (130)	1300	Нижнее	0	0	1	1
0,2 (20)	0200	»	1	1	1	0	1,4 (140)	1400	»	0	0	1	0
0,3 (30)	0300	»	1	1	0	1	1,5 (150)	1500	»	0	0	0	1
0,4 (40)	0400	»	1	1	0	0	1,6 (160)	1600	»	0	0	0	0
0,5 (50)	0500	»	1	0	1	1	1 (100)	0100	Верхнее	1	1	1	1
0,6 (60)	0600	»	1	0	1	0	2 (200)	0200	»	1	1	1	0
0,7 (70)	0700	»	1	0	0	1	3 (300)	0300	»	1	1	0	1
0,8 (80)	0800	»	1	0	0	0	4 (400)	0400	»	1	1	0	0
0,9 (90)	0900	»	0	1	1	1	5 (500)	0500	»	1	0	1	1
1,0 (100)	1000	»	0	1	1	0	6 (600)	0600	»	1	0	1	0
1,1 (110)	1100	»	0	1	0	1	7 (700)	0700	»	1	0	0	1
1,2 (120)	1200	»	0	1	0	0	8 (800)	0800	»	1	0	0	0

Величина порога срабатывания сигнализации мкЗв/ч (мкР/ч)	Соответствующая порогу величина показаний индикатора	Положения S3	Положения S4			
			S4.1	S4.2	S4.3	S4.4
			800	400	200	100
9 (900)	0900	Верхнее	0	1	1	1
10 (1000)	1000	»	0	1	1	0
11 (1100)	1100	»	0	1	0	1
12 (1200)	1200	»	0	1	0	0
13 (1300)	1300	»	0	0	1	1
14 (1400)	1400	»	0	0	1	0
15 (1500)	1500	»	0	0	0	1
16 (1600)	1600	»	0	0	0	0

Tab. 1. Pozycje przełączników przy używaniu licznika RKSB-104 jako dozymetru.

5. Licznik jako dozymetr progowy

Ostatnim trybem, o którym warto wspomnieć, jest dozymetr progowy, którego próg alarmowy możemy ustawiać w zakresie od 0,1 do 1,6 $\mu\text{Sv/h}$ co 0,1 $\mu\text{Sv/h}$ oraz od 1 do 16 $\mu\text{Sv/h}$ co 1 $\mu\text{Sv/h}$. Ten tryb włączamy, przesuważąc przełącznik rodzaju pracy (S2) na pozycję ДЕЖ - jest to jedyny tryb, wymagający użycia tego przełącznika, pozostałe pracują w pozycji РАБ. Mikroprzełączniki trybu pracy (górne) ustawiamy jak do pomiaru gamma. Następnie programujemy wartość progę za pomocą odpowiedniej kombinacji czterech dolnych mikroprzełączników, oznaczonych cyframi 100, 200, 400 i 800. Jeśli wartość progę chcemy wybrać w zakresie 0,1-1,6 $\mu\text{Sv/h}$, wówczas przełącznik czasu pomiaru (S3) ustawiamy w dolne położenie (280 s), zaś dla zakresu 1-16 $\mu\text{Sv/h}$ w górne (28 s).

W tym trybie RKSB-104 mierzy moc dawki promieniowania gamma, resetując pomiar od razu po zakończeniu każdego cyklu, może więc służyć jako namiastka dozymetru uśredniającego - nie musimy czekać na zakończenie wyświetlania wyniku i rozpoczęcia nowego pomiaru, jak to ma miejsce w trybie pomiaru mocy dawki.

Dozymetr progowy to najrzadziej wykorzystywana funkcja RKSB-104, szczególnie wobec długiego (280 s) czasu pomiaru dla progów między 0,1 a 1,6 $\mu\text{Sv/h}$, czyli w zakresie typowym dla warunków normalnych. Przypomnijmy, że tło naturalne w Polsce wynosi od 0,1 do 0,2 $\mu\text{Sv/h}$, zaś próg alarmowy w większości współczesnych cywilnych dozymetrów ustawiony jest na 0,3-0,6 $\mu\text{Sv/h}$ w odniesieniu do narażenia całego ciała.