

Jerzy Paluchiewicz

KONSTRUOWANIE NIEKTÓRYCH ELEMENTÓW AUTOMATYCZNYCH URZĄDZEŃ POMIAROWYCH NAPEŁNIANYCH PŁYNAMI

Streszczenie. W artykule przedstawiono sposób konstruowania takich niektórych elementów automatycznych urządzeń pomiarowych, które w trakcie cyklicznej pracy są napełniane płynami o coraz to innych stężeniach zawartych w nich składników, przy czym po każdym cyklu pracy muszą być odpowiednio opróżniane z tych płynów. Opisano przeprowadzone badania, z wykorzystaniem kolometrycznej zasady pomiaru ilości płynu oraz metod badań statystycznych dla opracowania ich rezultatów. Wyprowadzono wzór pozwalający na określenie błędu pomiarowego związanego z pozostawianiem płynu na ściankach. W końcowej części podano sposób określenia optymalnej konstrukcji naczynia. Przedstawione w pracy badania i określenie konstrukcji są wynikiem konkretnych potrzeb, związanych z urządzeniem do pomiaru parametrów krwi.

1. Wstęp

W trakcie konstruowania urządzeń, których pewne elementy napełniane są coraz to innymi płynami jak np. automatyczne analizatory parametrów krwi, moczu lub tp., automatyczne urządzenia dozujące i rozcieńczające, wszelkiego typu kuwety fotometrów, liczników cząstek itp. - zawsze zachodzi konieczność likwidacji lub zmniejszenia do żądanych granic błędu, który popełniany mierząc w tym samym urządzeniu płyny o coraz to innych parametrach. W pewnych przypadkach problem ten daje się zlikwidować przez zastosowanie niektórych elementów jednorazowego użytku, zwykle jednak takie rozwiązanie jest zbyt kosztowne przy dokonywaniu masowych badań. Bywa również, że pewne naczynia powinny stanowić integralną część urządzenia. Następne oczywiste rozwiązanie, polegające na przemywaniu i osuszaniu urządzenia pomiędzy cyklami pracy nie jest rozwiązaniem konstrukcyjnie prostym, ponadto zabieg osuszania jest czasochłonny, wymagający przetłoczenia znacznej ilości powietrza. W celu rozwiązania problemu przeprowadzono analizę zjawiska pozostawiania płynów na ściankach określonych naczyń. Rezultaty tych badań stały się podstawą do określenia optymalnej konstrukcji kuwety.

Niniejsza praca jest wynikiem konkretnych potrzeb związanych z urządzeniem do pomiaru parametrów krwi, jednak proponowana metoda analizy oraz sposoby konstruowania mogą być stosowane również w innym przypadku, przy uwzględnieniu specyfiki problemu. Aby lepiej poznać istotę zagadnienia rozważmy przykładowo działanie automatycznego urządzenia do pomiaru

zawartości hemoglobiny we krwi. Do układu dozowania pobiera się określoną objętość krwi (rzędu 20-50 μ l) po czym przetłacza ją razem z określoną objętością cieczy rozcieńczającej (rzędu 5-10 ml) do kuwety inkubacyjnej. Po upływie czasu niezbędnego do zajścia odpowiednich procesów fizykochemicznych oraz po wymieszaniu płynu w kuwecie przetłacza się go do kuwety przepływowej miernika celem dokonania pomiaru zawartości hemoglobiny w danej krwi. Po wykonaniu tej czynności płyn wydalą się z urządzenia, po czym stosując jeden ze sposobów doprowadza się do likwidacji pozostałości lub zmniejszenia ich do odpowiednich granic, przygotowując układ do wykonania następnego cyklu pracy.

W niniejszej pracy podaje się metody analizy, związanych z urządzeniami typu naczynia a więc kuwety inkubacyjne, pomiarowe, pojemniki itp.

2. Zjawiska fizyczne związane z pozostawianiem płynu na ściankach naczynia

Przy analizie zjawisk związanych z płynami i ich przepływami, analizie jakości opróżniania się naczyń bez osuszania, przy badaniu zjawisk związanych z przemywaniem przy pomocy powietrza itp. zachodzi zawsze konieczność uwzględnienia sił napięcia powierzchniowego, adhezji i kohezji. Napięcie powierzchniowe definiuje się jako stosunek energii warstwy zewnętrznej danej cieczy do powierzchni tej warstwy. Zjawisko to powoduje, że ciecze dążą do zmniejszenia swej powierzchni zewnętrznej. Wielkość ta maleje ze wzrostem temperatury, silnie zależy od czystości cieczy. Przez odpowiednie domieszki można znacznie obniżyć napięcie powierzchniowe cieczy.

Siły adhezji i kohezji można wyznaczyć doświadczalnie. Na przykład po zetknięciu powierzchni płyty szklanej z lustrem wody, chcąc oderwać płytę należy przyłożyć pewną siłę, która w tym przypadku będzie siłą kohezji między cząsteczkami wody.

Jednak przeprowadzenie takich badań i wykorzystanie ich przy konstruowaniu aparatury wiąże się z wieloma trudnościami oraz możliwością popełnienia znacznych błędów. W praktyce sens mają badania, uwzględniające kompleks takich parametrów jak napięcie powierzchniowe, adhezja, kohezja, czystość cieczy, temperatura, materiał naczynia, jego szorstkość, czystość powierzchni, kształt, obecność zakamarków itp. Dlatego też jedynie celowe są ogólne badania faktu pozostawiania konkretnej cieczy na ściankach konkretnego naczynia w warunkach normalnej pracy. Niemniej jednak przynajmniej jakościowe rozeznanie wpływu poszczególnych parametrów jest niezbędne, gdyż pozwala wpływać w znacznych granicach na objętość cieczy pozostającą na ściankach. Zagadnienia te w niniejszej pracy nie będą omawiane.

3. Metody pomiaru ilości cieczy pozostającej na ściankach naczynia

Można wskazać kilka metod pozwalających na określenie ilości cieczy, która pozostanie w naczyniu po napełnieniu go i opróżnieniu żądanym sposobem.

W wypadku, gdy ciecz ta ma niezerową, stosunkowo niezmienną w czasie przewodność elektryczną, można zastosować metodę konduktometryczną. Na przykład chcąc ustalić ilość cieczy przewodzącej, pozostałej w naczyniu, można wlać do naczynia znaną objętość cieczy nieprzewodzącej. Znając przewodności cieczy badanej oraz przewodność mieszaniny można obliczyć, jaka ilość cieczy pozostała na ściankach naczynia. Jeśli obie ciecze posiadają zbliżone przewodności, można zastosować ich kontrastowanie, mieszając jedną z nich z silnym elektrolitem. Należy przy tym pamiętać, że czynność ta może naruszać własności hydrodynamiczne układu, co może doprowadzić do wyciągnięcia błędnych wniosków.

Do pomiaru ilości cieczy barwnych można zastosować metody kolorymetryczne. Do naczynia napełnionego uprzednio cieczą barwną i opróżnionego wlewamy określoną objętość cieczy rozcieńczającej dokonując pomiaru stężenia mieszaniny. Stosunkowo prostym sposobem jest ważenie naczynia przed napełnieniem i po opróżnieniu. Dokładność sposobu wynika z dokładności użytej wagi, wadą jest czasochłonność wykonywania dłuższych serii badań, przy użyciu różnych naczyń. Można również stosować inne sposoby jak np. wprowadzanie do cieczy odpowiedniej ilości cząstek i liczenie ich w sporządzonej mieszaninie, stosowanie domieszek powodujących reakcje barwne przy zetknięciu się z sobą itp.

W pracy wykorzystano kolorymetryczną zasadę pomiaru ilości cieczy pozostającej na ściankach naczynia.

Przyjęto, że stopień rozcieńczenia c jest to stosunek objętości cieczy barwnej V_B do objętości mieszaniny cieczy barwnej i rozcieńczającej $V_B + V_R$:

$$c = \frac{V_B}{V_B + V_R} \quad (3.1)$$

W oparciu o (3.1) wyskalowano przyrząd pomiarowy, przy pomocy którego można określić $V_B = f(c)$, przy $V_R = \text{const}$.

Po napełnieniu badanego naczynia cieczą barwną o stężeniu c_1 opróżniamy je w pewien określony i jednakowy w jednym cyklu badań sposób. Następnie naczynie to napełniamy określoną objętością cieczy rozcieńczającej i po wymieszaniu jej z uprzednio pozostałą w naczyniu dokonujemy pomiaru rozcieńczenia c_2 tej mieszaniny. Pomiar ten wystarczy do wyznaczenia objętości cieczy barwnej pozostałej w naczyniu. Dla uproszczenia obliczeń przyjmujemy, że $c_1 = 1$ co odpowiada potraktowaniu tej cieczy jako cieczy barwnej nierozcieńczonej. Wtedy zgodnie z (3.1) i dla $c_2 = c$

$$V_B = \frac{V_R}{\frac{1}{c} - 1} \quad (3.2)$$

Istotną cechą tej metody jest możliwość znacznego zwiększenia jej czułości. Pierwszy sposób to zastosowanie odpowiednio stężonej cieczy barwnej. Nie należy jednak dążyć do znacznego zwiększenia czułości tą metodą, gdyż kontrastujący barwnik dodany do badanej cieczy może wpłynąć na zmianę jej własności fizycznych. Drugi sposób to n -krotne powtórzenie przedstawionego cyklu z tą różnicą, że do kolejnych powtórnych napełnień używa się zawsze tej samej cieczy. Jeśli wszelkie opróżniania prowadzić tym samym sposobem, wtedy łatwo stwierdzić, że wartość oczekiwana objętości uzyskanej po n cyklach nie ulegnie zmianie i można przyjąć, że wynosi ona odpowiednio V_R i V_B . Opiszemy tok postępowania w tym przypadku.

Należy wyodrębnić zależność:

$$f(c_n, n, V_B, V_R) = 0 \quad (3.3)$$

Napełniamy zbiornik cieczą o stężeniu $c_0 = 1$ i opróżniamy go w pewien sposób, jednakowy w danym cyklu badań. Na ściankach zbiornika pozostanie objętość $V_{B1} = V_B$. Napełniamy zbiornik cieczą rozcieńczającą o objętości $V_{R1} = V_R$. Uzyskana mieszanina ma stężenie:

$$c_1 = \frac{V_{B1}}{V_{B1} + V_{R1}} = \frac{V_B}{V_B + V_R} \quad (3.4)$$

Opróżniamy zbiornik, uzyskaną ciecz traktujemy jako ciecz rozcieńczającą dla następnego cyklu. Przemycamy zbiornik cieczą barwną i powtarzamy cykl napełniania go cieczą rozcieńczającą oraz opróżniania. Po tym cyklu objętość cieczy barwnej, zawartej w cieczy rozcieńczającej wynosi:

$$V_{B2} = 2 V_B - c_1 V_B \quad (3.5)$$

zaś objętość niezabarwionej cieczy:

$$V_{R2} = V_R - (1 - c_1) V_B \quad (3.6)$$

Stężenie cieczy barwnej w tej mieszaninie wynosi:

$$c_2 = \frac{V_{B2}}{V_{B2} + V_{R2}} \quad (3.7)$$

Jeśli do równania (3.7) podstawimy (3.4), (3.5), (3.6), to w drugim cyklu czyli dla $n = 2$ otrzymujemy:

$$c_2 = \frac{V_B^2 + 2 V_B V_R}{(V_R + V_B)^2} = 1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{V_B}{V_R}\right)^2} \quad (3.8)$$

gdzie:

$V_{B3} = 3 V_B - c_1 V_B - c_2 V_B$ - objętość cieczy barwnej zawartej w cieczy rozcieńczającej,

$V_{R3} = V_R - (1 - c_1) V_B - (1 - c_2) V_B$ - objętość cieczy niezabarwionej.

Po analogicznym jak poprzednio przekształceniu równania (3.8) otrzymujemy:

$$c_3 = \frac{V_B^3 + 3 V_B V_R^2 + 3 V_B^2 V_R}{(V_B + V_R)^3} = 1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{V_B}{V_R}\right)^3} \quad (3.10)$$

Wykorzystując zasadę indukcji matematycznej, czyli przyjmując, że wzór

$$c_{n-1} = \frac{V_{B,n-1}}{V_{B,n-1} + V_{R,n-1}} = 1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{V_B}{V_R}\right)^{n-1}}$$

gdzie:

$V_{B,n-1} = (n-1) V_B - c_1 V_B - \dots + c_{n-2} V_B$

$V_{R,n-1} = V_R - (1 - c_1) V_B - \dots + (1 - c_{n-2}) V_B$

jest słuszny, można wykazać prawdziwość wzoru:

$$c_n = 1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{V_B}{V_R}\right)^n} \quad (3.11)$$

Załóżmy, że posiadany kolorymetrem można dogodnie mierzyć rozcieńczenia rzędu c_k . Ustalmy orientacyjną wartość V_B . Wtedy ze wzoru (3.11) można obliczyć taką wartość V_R , aby za n cykli uzyskać stężenie c_k dogodne dla pomiaru.

Ponieważ w omawianym przypadku zachodzi $V_B \ll V_R$, jak również $c_k \ll 1$ wystarczającym przybliżeniem wzoru (3.11) jest

$$V_R \approx \frac{n V_B}{c_k} \quad (3.12)$$

Wartości tej nie można jednak dowolnie zmniejszać, gdyż rośnie udział cieczy barwnej w mieszaninie, co przy objętościach mieszaniny współmierzalnych z objętością pozostającą na ściankach (V_B) spowoduje, że uzyskana wartość c_n będzie zmienną, losową o znacznej wariancji. Związany z tym maksymalny błąd przypadkowy można w przybliżeniu określić jako:

$$\Delta_{\text{omax}} \approx \frac{c_n \Delta V_{B\text{max}}}{V_R} = \frac{c_n F_w u S}{V_R \sqrt{n}} \quad (3.13)$$

Wzór ten można wyprowadzić w oparciu o rozdział 5 niniejszej pracy uwzględniając, że wariancja średniej wartości n zmiennych losowych normalnych jest równa σ^2/n .

Dodatkowo musi być spełniona zależność:

$$V_R \geq V_{k\text{min}},$$

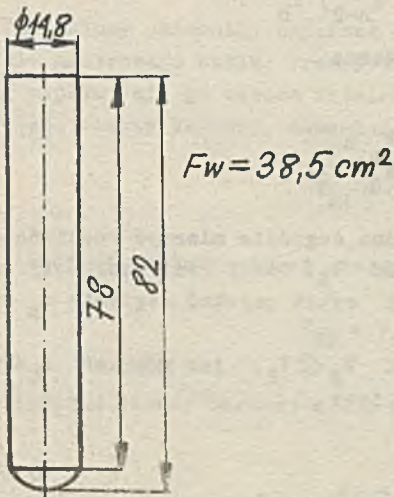
gdzie:

$V_{k\text{min}}$ - minimalna objętość pomiarowa.

Przy ustalonej objętości V_R można obliczyć, ile cykli należy wykonać dla uzyskania c_k , dogodnego dla pomiaru. Zgodnie z (3.12):

$$n \approx \frac{c_k V_R}{V_B} \quad (3.14)$$

4. Przeprowadzenie badań i opracowanie ich rezultatów



Rys. 4.1

Zgodnie z tezą zawartą w rozdziale 2 eksperyment należy przeprowadzać w warunkach zbliżonych do przewidywanych warunków rzeczywistych. W tym celu wybrano szklaną kuetę bez załamania wewnętrznych, odpowiednio wymytą. Wymiary wewnętrzne tej kuetę podano na rys. 4.1. Własności użytej do badań cieczy są zbliżone do własności wody.

Należy wyjaśnić charakter zjawiska pozostawania na ściankach tej kuetę pewnej ilości cieczy, po napełnieniu jej i opróżnieniu przez wylanie wraz z osuszeniem kropeł na krawędziach. Wstępne pomiary wykazały, że ta ilość cieczy nie jest w tych warunkach wielkością stałą, zmienia się od pomiaru

do pomiaru. Dlatego też celowym jest wykorzystanie tu określonych metod badań statystycznych.

Jako zmienną losową X przyjęto stosunek objętości cieczy pozostającej na powierzchni kuwety w przedstawionych warunkach do tej powierzchni.

$$X = \frac{V}{F_w} \text{ (ul/cm}^2\text{)}$$

Wyodrębnimy rozkład gęstości prawdopodobieństwa tej zmiennej losowej. Jeżeli podzielić powierzchnię kuwety na znaczną ilość powierzchni cząstkowych, to objętość cieczy pozostającej na każdej z tych powierzchni można traktować jako zmienne losowe niezależne lub też słabo zależne (siły kohezji, adhezji i napięcia powierzchniowego), przy czym rozkłady tych zmierzonych są nieznanne. Jednak zmienna losowa X jako suma tych zmiennych podzielona przez wartość stałą w myśl centralnego twierdzenia granicznego powinna dążyć do rozkładu normalnego. Hipotezę tę poddano poniżej testowaniu.

Ustalimy na wstępie, jaka ma być objętość materiału doświadczalnego dla uzyskania założonej dokładności i pewności ocen. Dla oceny \bar{x} wartości oczekiwanej $M[X]$ na podstawie próbki małej objętości dokładność i pewność ocen wiąże wzór:

$$P \left\{ \bar{x} - \delta \leq M[X] \leq \bar{x} + \delta \right\} = 1 - q, \quad (4.1)$$

gdzie:

$$\delta = t_{q/1, f} \cdot \frac{S}{n} \quad (4.2)$$

S - nieobciążona ocena dyspersji,

f - ilość stopni swobody, $f = n - 1$,

$t_{q, f}$ - wartość zmiennej losowej o rozkładzie Studenta dla danego q , f .

Wzór (4.2) wykorzystano do oszacowania liczebności próbki, przy czym jako kryterium przyjęto dokładność i pewność oceny wartości oczekiwanej. Przeprowadzono w tym celu próbny eksperyment z zachowaniem opisanych warunków, przy niewielkiej liczebności próbki.

Uzyskano następujące rezultaty:

- ocena wartości oczekiwanej $\bar{x}_1 = 2,26 \text{ (ul/cm}^2\text{)}$,

- ocena wariancji $S_1^2 = 0,40$.

Założono pewność oceny

$$1 - q = 0,95.$$

Można a priori założyć, że licznosc koniecznego materiału doświadczalnego przekroczy 30

$$n > 30$$

wtedy

$$t_{q,r} \approx u_q,$$

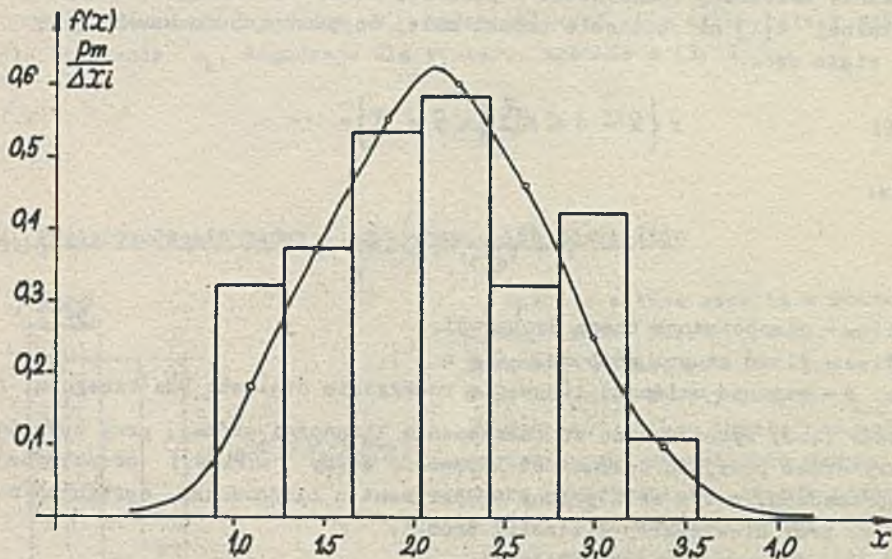
gdzie:

u_q - znormalizowana zmienna losowa o rozkładzie normalnym.

Uwzględniając, że q odpowiada obszarowi dużych odchyżeń dodatnich i ujemnych, otrzymujemy

$$u_q = 1,96$$

Przy założonej dokładności $\delta = 5-10\%$ wartości oczekiwanej otrzymujemy w oparciu o (4.2), że licznosc ta wynosi odpowiednio od 154 do 31. Przyjęto $n = 50$, co odpowiada dokładności oceny lepszej niż 10%.



Rys. 4.2

Następnie eksperyment uzupełniono do tej licznosci i w oparciu o zebrany materiał doświadczalny sporządzono histogram zmiennej losowej X_1 , obliczono jej charakterystyki liczbowe oraz przeprowadzono testowanie hipotezy o jej rozkładzie normalnym. Histogram zmiennej X_1 pokazano na rys.

4.2. Testowanie hipotezy o normalnym rozkładzie przeprowadzono, wykorzystując kryterium Pearsona, które w danym przypadku przyjmie postać

$$\chi^2 = \sum_{r=1}^{k_r} \frac{(n_r - n \tilde{P}_r)^2}{n \tilde{P}_r}$$

gdzie:

- k_r - ilość przedziałów, na które podzielono materiał doświadczalny ($k_r = 5$),
- n_{r_j} - ilość elementów przypadających na przedział r ,
- $n \tilde{P}_r$ - ilość elementów, które przypadają na przedział r pod warunkiem że testowana hipoteza jest prawdziwa.

Przyjęto taką szerokość przedziałów, aby liczba elementów w przedziale $N > 10$. Obliczona wartość tego kryterium wynosi

$$\chi^2 = 0,09.$$

Wartość tę porównuje się z wartością graniczną.

Dla $q = 5\%$, przy $f = k_r - 2 - 1 = 2$ otrzymamy

$$\chi_{gr}^2 = 5,99.$$

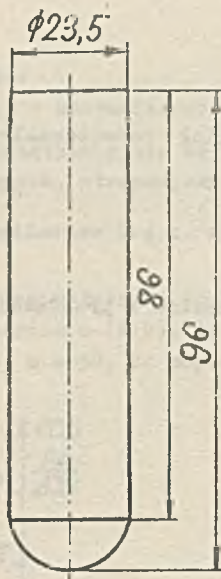
Uzyskano, że $\chi^2 < \chi_{gr}^2$, a więc materiał doświadczalny nie przeczy hipotezie, że populacja generalna zmiennej losowej X ma rozkład normalny. Po ustaleniu tego faktu można wyrównać histogram w oparciu o tablice gęstości rozkładu normalnego, co ilustruje rys. 4.2.

W celu uzyskania bardziej wyczerpującej informacji o pozostawaniu cieczy na ściankach kuwety powtórzono eksperyment wykorzystując tę samą kuetę, przy czym po napełnieniu i wylaniu płynu odwracano ją do góry dnem, pozostawiając ją określony czas w tym położeniu, usuwając nadmiar płynu z jej krawędzi. Podobna sytuacja miałaby miejsce jeśli kuweta byłaby nieruchoma, zaś resztki płynu odsysane z jej dna. Charakterystyki liczbowe ocen takiej zmiennej losowej X_2 podano w tabelicy 4.1 zestawiając je z ocenami zmiennej X_1 (kol. 3, 4, 5).

Tabela 4.1

\bar{X}	n	\bar{x}	s^2	$a < \sigma^2 < b$		$\bar{x} - \delta < M[\bar{X}] < \bar{x} + \delta$	
				a	b	$\bar{x} - \delta$	$\bar{x} + \delta$
1	2	3	4	5	6	7	8
X_1	50	2,11	0,42	0,29	0,65	1,92	2,30
X_2	36	1,48	0,10	0,07	0,17	1,37	1,59

Dokładności i pewności ocen tych zmiennych są zbliżone, nie ma również podstaw dopuszczania testowania hipotezy o rozkładzie normalnym zmiennej X_2 .



$$F_w = 71 \text{ cm}^2$$

Rys. 4.3

Celowym jest ustalenie, czy podane oceny zmiennych losowych X_1 i X_2 dotyczą również innych naczyń szklanych, tzn. spełniających warunki opisane na wstępie ale posiadające inne wymiary. W tym celu przeprowadzono eksperyment o niewielkiej objętości, wykorzystując kuetę o wymiarach przedstawionych na rys. 4.3, według schematu odpowiadającego zmiennej X_1 .

Uzyskano dla $n = 9$, że

$$\bar{x}_3 = 2,37, \quad s_3^2 = 0,19.$$

Należy ustalić czy otrzymana rozbieżność ocen X_1 i X_3 nosi charakter wyłącznie przypadkowy, czy też rozkłady tych zmiennych różnią się w sposób istotny. Wiedząc, że zmienne X_1 i X_3 mają rozkłady normalne stawiamy hipotezę, że róż-

nica między \bar{x}_1 i \bar{x}_3 ma jedynie przypadkowy charakter i przeprowadzamy jej testowanie wykorzystując kryterium Studenta. Przyjęto 5 procentowy obszar krytyczny dużych odchyłeń dodatnich i ujemnych. Kryterium testowania w tym przypadku przybiera postać

$$t = \frac{|\bar{x}_3 - \bar{x}_1|}{s} \sqrt{\frac{n_1 n_3}{n_1 + n_3}}$$

gdzie:

$$s = \frac{(n_1 - 1) S_1^2 + (n_3 - 1) S_3^2}{n_1 + n_3 - 2}$$

Uzyskaną wartość $t = 1,16$ porównuje się z wartością krytyczną $t_{kr} = 2,00$ (dla danego q i $f = n_1 + n_3 - 2 = 57$). Wobec faktu, że $t < t_{q,f}$ postawioną hipotezę przyjmujemy. Należy jeszcze przeprowadzić testowanie hipotezy, że rozbieżność pomiędzy S_1^2 i S_3^2 również nosi charakter wyłącznie przypadkowy.

Wykorzystano w tym celu F-kryterium:

$$F = \frac{S_1^2}{S_3^2} \quad (4.4)$$

Ilość stopni swobody $f_1 = n_1 - 1 = 49$ i $f_3 = n_3 - 1 = 8$. Przyjmując jako konkurującą hipotezę, że S_1^2 jest rzeczywiście większe od S_3^2 wybrano jako obszar krytyczny - obszar dużych odchyłań dodatnich.

Uzyskaną ze wzoru (4.4) wartość $F = 2,21$ porównano z wartością krytyczną $F_q = 3,02$ i wobec faktu, że $F < F_q$ można stwierdzić, że również w tym przypadku zebrany materiał doświadczalny nie przeczy postawionej hipotezie.

Przeprowadzono również testowanie dla zmiennej X_2 . Wykazało ono, że jej parametry różnią się w sposób istotny zarówno od zmiennej X_1 jak i od X_3 .

W tabelicy 4.1 zebrano rezultaty obliczeń dokładności ocen wartości oczekiwanej oraz wariancji zmiennych losowych X_1 i X_2 , przy czym dla oceny wartości oczekiwanej wykorzystano wzory (4.1) i (4.2), zaś dla obliczenia dokładności oceny wariancji wykorzystano wzory na granice ufności dla wariancji:

$$\frac{(n-1) S^2}{\chi_{q_1}^2}, \quad \frac{(n-1) S^2}{\chi_{q_2}^2}$$

gdzie:

χ_q^2 - wartości tablicowe kryterium Pearsons.

Przedstawione rezultaty badań, ich opracowanie wraz ze sprawdzonymi hipotezami mogą stanowić podstawę do konstruowania dostatecznie szerokiej grupy urządzeń, pracujących zgodnie z przedstawionym schematem. Jeśli schemat ten nie jest zachowany albo mają być stosowane naczynia innego kształtu niż użyte do badań, inne ciecze, uważa się za celowe adaptować przedstawione rezultaty badań dokonując korekcji ocen w oparciu o przeprowadzony eksperyment uzupełniający niewielkiej objętości, dla konkretnie wykorzystywanych cieczy, materiałów, sposobów opróżniania. W każdym przypadku zebrane dane należy traktować jedynie jako podstawę do konstruowania, w związku z czym po określeniu całości konstrukcji niezbędne jest przeprowadzenie odpowiednich badań kontrolnych tej konstrukcji.

5. Określenie optymalnej konstrukcji

Przedstawimy proponowany sposób konstruowania omawianych urządzeń na przykładzie kuwet inkubacyjnych analizatora zawartości hemoglobiny, ilości krwinek czerwonych i białych we krwi. Należy zaprojektować kuwety dla

cieczy rozcieńczających o objętości 5-10 ml, dla zakresów pomiarowych podanych w tabelicy 5.1 przy równomiernej gęstości prawdopodobieństwa każdego z parametrów w obszarze zakresu pomiarowego. Schemat pracy każdego z kanałów pomiarowych jest zbliżony do schematu miernika zawartości hemoglobiny, podanego w rozdziale 1.

Tabela 5.1

	c_{\min}	c_{\max}	Jednostka
Zawartość HB	20	200	$[\mu\text{g}/\mu\text{l}]$
Ilość KC	$1 \cdot 10^6$	$10 \cdot 10^6$	$[\mu\text{l}/\mu\text{l}]$
Ilość KB	$1 \cdot 10^3$	$40 \cdot 10^3$	$[1/\mu\text{l}]$

Dodajmy, że ww. parametry krwi określane są jako ilości danej substancji (lub krwinek) przypadające na jednostkę objętości krwi, dlatego też wzór (3.1) ulega odpowiedniej zmianie. Fakt, że w kuetach inkubacyjnych krew jest już rozcieńczona nie zmienia wartości błędu pomiarowego, odnoszonego zawsze do podstawowej jednostki danego parametru.

Ustalono, że konstrukcja kuwety będzie określona w oparciu o kryterium prostoty konstrukcji przy zadanej wielkości błędu pomiarowego.

Wyprowadzimy wzór określający wielkość błędu pomiarowego spowodowanego łączeniem się resztek płynu pozostającego na ściankach kuwety z poprzedniego cyklu pracy z płynem pomiarowym cyklu następnego. Stężenie c takiej mieszanki w cyklu następnym wynosi:

$$c = \frac{c_1 V_p + c_2 V_2}{V_p + V_2} \quad (5.1)$$

gdzie:

c_1 - stężenie składnika mierzonego w cyklu poprzednim,

c_2 - stężenie składnika mierzonego w cyklu następnym,

V_p - objętość cieczy o stężeniu c_1 , pozostającej na ściankach kuwety,

V_R - objętość cieczy o stężeniu c_2 , napełniającej kuwetę.

Procentowy błąd względny określono jako:

$$\Delta = \frac{c - c_2}{c_2} 100\% \quad (5.2)$$

Po podstawieniu do (5.2) wzoru (5.1) i dokonaniu prostych przekształceń otrzymamy wzór na procentowy błąd względny:

$$\Delta = \frac{\frac{c_1}{c_2} - 1}{\frac{V_R}{V_P} + 1} \cdot 100\% \quad (5.3)$$

Przeprowadzimy analizę tego wzoru.

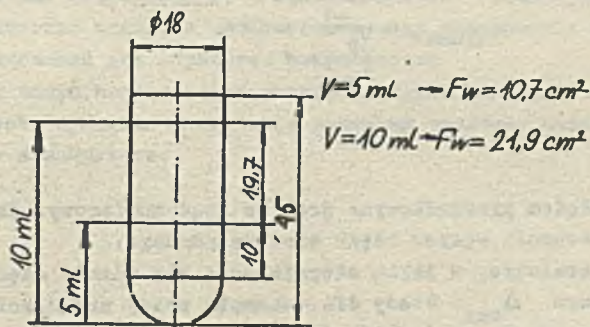
Błąd Δ spada ze wzrostem stosunku V_R/V_P ; przy osuszeniu kuwety $V_P \rightarrow 0$ a więc $\Delta \rightarrow 0$.

Dla naczynia kulistego stosunek jego powierzchni F_w do objętości V maleje ze wzrostem V :

$$\frac{F_w}{V} = \frac{3}{r}$$

Stąd wniosek, że błąd Δ można zmniejszyć stosując naczynia odpowiedniego kształtu, dodatkowo zwiększając objętość V_R do maksymalnej dopuszczalnej wartości.

W pracy nie kierowano się przedstawionymi uwagami, gdyż zgodnie z założeniami kuweta przy $V_R = 5 \text{ ml}$ powinna mieć część cylindryczną o wysokości przynajmniej 10 mm, jej pojemność zaś winna być nie mniejsza niż 10 ml. Przy tych założeniach kuweta, odpowiadająca warunkowi $\min(F_w/V)$ posiada wymiary przedstawione na rys. 5.1.



Rys. 5.1

Błąd Δ jest błędem systematyczno-przypadkowym, wynikającym z charakteru zmian realizacji x zmiennej losowej X :

$$x = \bar{x} \pm u s \quad (5.4)$$

Zgodnie z przyjętą pewnością ocen $q = 5\%$ otrzymamy:

$$u = 1,96$$

Wobec faktu, że nie zakładamy likwidacji pozostałości V_p , do dalszych obliczeń należy przyjąć jej maksymalną wartość, tzn. zgodnie z (5.4)

$$V_{pmax} = F_w(\bar{x} + 1,96 S)$$

Opierając się na wzorze (5.3) łatwo dokonać analizy każdej konkretnie występującej sytuacji.

Tablica 5.2

X	V_{pmin} [μl]	V_{pmax} [μl]	Z płukaniem		Bez płukania			
			Δ_{max} [%]	Δ_{omax} [%]	Δ [%] dla HB i KC		Δ [%] dla KB	
					$c_1=c_{1min}$ $c_2=c_{2max}$	$c_1=c_{1max}$ $c_2=c_{2min}$	$c_1=c_{1min}$ $c_2=c_{2max}$	$c_1=c_{1max}$ $c_2=c_{2max}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
X_1	9,02	36,3	-0,72	-0,28	-0,65	+6,5	-0,70	+28,1
X_2	9,17	22,7	-0,45	-0,14	-0,41	+4,1	-0,44	+17,6

W tablicy (5.2) zebrano wszelkie interesujące w prowadzonej pracy obliczenia, dokonane w oparciu o wzór (5.3) i tabl. 5.1 przy $V_R = 5$ ml.

Błąd

$$\Delta_{omax} = \frac{-1}{\frac{V_R}{V_{po}} + 1} 100\%$$

gdzie:

$$V_{po} = F_w u S$$

jest maksymalnym błędem przypadkowym: jest to błąd pomiarowy, jaki popełniamy przy wyeliminowaniu wpływu błędu systematycznego.

Ciekawym jest ustalenie, w jakim stopniu mogą się różnić stężenia c_1 i c_2 przy założonym Δ_{max} . Wtedy dla schematu pracy urządzenia typu X_2 otrzymamy dla $c_1 > c_2$, przy $\Delta \leq 1\%$, że $c_1/c_2 = 3,22$. Oznacza to, że jeśli stężenie płynu następnego nie będzie się różnić bardziej niż 3-krotnie od stężenia płynu poprzedniego, to błąd nie przekroczy 1%, bez płukania. Stwierdzenie to może uprościć konstrukcję w sytuacjach, gdzie stosunek stężeń nie przekracza zadanej wartości.

Opierając się na obliczeniach zebranych w tablicy 5.2 oraz na poprzednich ustaleniach, można wyciągnąć wniosek dotyczący konstrukcji kuwek przyrządu do pomiaru parametrów krwi, że kuweta przedstawiona na rys. 5.1

może być stosowana, jednak chcąc spełnić warunek błędu $\Delta \leq 1\%$ przy podanych zakresach pomiarowych należy zastosować płukanie kuwet między operacjami, przy czym resztki płynu gromadzące się na dnie kuwety winny być usunięte (np. przez odsysanie).

LITERATURA

- [1] Bukowski J.: Mechanika płynów, PWN 1970.
- [2] Rumszycki L.Z.: Matematyczne opracowanie wyników eksperymentu, WNT, Warszawa 1973.
- [3] Smirnow N.W., Dunin-Barkowski I.W.: Kurs rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej, PWN, Warszawa 1973.
- [4] Volk W.: Statystyka stosowana dla inżynierów, WNT Warszawa 1973.

КОНСТРУИРОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ОБОРУДОВАНИЙ НАПОЛНЕННУЮ ЖИДКОСТЯМИ

Р е з ю м е

В статье даётся способ конструирования таких некоторых элементов измерительных систем, которые в течение циклической работы наполняются жидкостью, в которой концентрация некоторого вещества меняется от цикла к циклу. Описано проведённые исследования, с использованием отометрического метода измерения количества жидкости оставшейся в этих элементах и методов статистических исследований для обработки результатов.

Во второй части представлено способ определения оптимальной конструкции этих элементов, принимая в качестве критерия величину ошибки при максимальной простоте конструкции.

THE DESIGNING OF SOME ELEMENTS OF AUTOMATIC MEASURING DEVICES FILLED WITH LIQUIDS

S u m m a r y

The article presents a method of designing some elements of automatic meters, which during their periodical operation are filled with liquids of different concentrations of their constituents and which after each cycle are cleared. Investigations have been described concerning the utilization of the photometrical method of measuring liquids as well as the statistical methods of recording the results.

In its final part the paper deals with a method of possible optimal designing of the container, taking into account errors of measurement, and with this maximal simplicity of this construction.