

Zresztą każdy ośrodek o pewnych tradycjach konstruujący układy optyczne ma przeanalizowanych wiele różnych układów, które z jednej strony, o ile spełniają im stawiane wymagania, mogą być wykorzystane jako gotowe zespoły w projektowanym przyrządzie a z drugiej strony mogą służyć jako elementy odniesienia przy ocenie możliwości korekcyjnych proponowanych w pierwszym etapie rozwiązań. Wraz ze wzrostem liczby analizowanych układów, zmniejszają się możliwości napotykania na elementy o nieznanym warunkach korekcyjnych i coraz częściej konstrukcja układów optycznych sprowadza się do poszukiwania takiego zestawienia elementów, aby można było zastosować lub zaadaptować istniejące rozwiązania. Ten ostatni proces polega na wprowadzeniu pewnych zmian konstrukcyjnych w zespołach już obliczonych w celu dopasowania korekcji do odmiennych nieco parametrów układów nowo konstruowanych. Różnić się one mogą otworem względnym, polem widzenia, ogniskową lub wymaganiami dotyczącymi jakości obrazu. Modyfikacja istniejących zespołów najczęściej w zasadniczy sposób upraszcza obliczenia.

6.1. Obliczenia gabarytowe

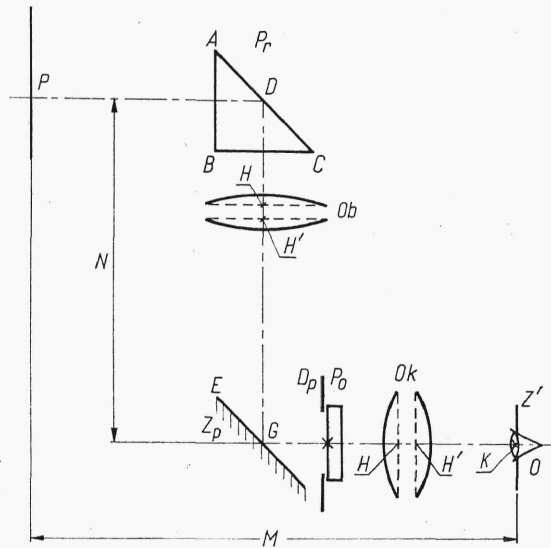
Przed przystąpieniem do szczegółowych obliczeń konieczne jest ustalenie pewnych parametrów zabezpieczających prawidłową pracę przyrządu. Zależnie od przeznaczenia przyrządu takimi parametrami są: powiększenie lub ogniskowa, położenie przedmiotu i obrazu, wymiary źrenic i ich położenie, przedmiotowe i obrazowe pola widzenia, rodzaj oświetlenia i odbiornika itp.

Wpływ tych parametrów został opisany w poprzednich rozdziałach. I tak dla przykładu, apertura i powiększenie wpływają na reakcję odbiornika oraz zakres informacji (zdolność rozdzielczą), jaki przekazywany jest przez układ. Położenie źrenicy wejściowej ustala zależności perspektywiczne w przestrzeni przedmiotowej (zwraca się szczególnie uwagę na stosowanie w mikroskopach pomiarowych telecentrycznego biegu w przestrzeni przedmiotowej). Źrenica wyjściowa w przyrządach wizualnych musi być rzeczywista i w odpowiedniej odległości od ostatniej powierzchni układu itd.

Po ustaleniu założeń wstępnych dokonywane jest szkicowe rozmieszczenie węzłowych elementów przyrządu. Na podstawie proponowanego kształtu przyrządu, sposobu obsługi i zasady pracy, oraz na podstawie analizy istniejących konstrukcji o podobnej zasadzie działania tworzony jest bez precyzowania wymiarów taki zestaw obiektów, okularów, pryzmatów itp., który będzie zabezpieczał spełnienie przez przyrząd podstawowych funkcji. Zwraca się wtedy szczególną uwagę na rolę poszczególnych elementów, zagadnienie skręcania lub odwracania obrazu, na położenie przysłon itp.

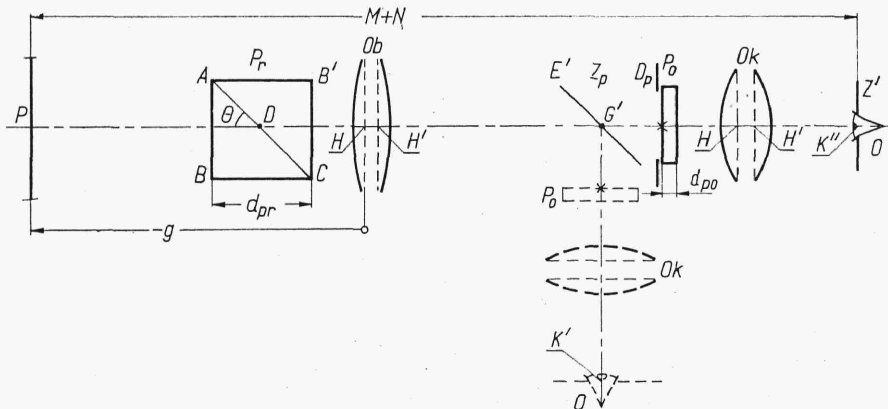
Z kolei następuje analityczne wyznaczenie położenia wszystkich elementów i związane z tym ustalenie ich mocy oraz średnic. W tym celu cały układ optyczny przyrządu zazwyczaj przedstawiany jest w rozwinięciu z pominięciem zmian kierunku biegu promieni wprowadzonych przez zwierciadła płaskie. Na drodze wyznaczenia obrazu zwierciadlanego części układu leżącej poza zwierciadłem otrzymuje się układ równoważny, w którym poza ewentualnym wpływem na ograniczenie pęku promieni można pominąć obecność zwierciadlanych elementów w układzie.

Dla lepszego wyjaśnienia posłużymy się przykładem. Niech projektowany przyrząd, np. wizualny, ma postać pokazaną na rys. 6.1. Obraz przedmiotu P dany przez pryzmat prostokątny P_r , obiektyw Ob i zwierciadło płaskie Z_p tworzy się w płaszczyźnie oznaczonej krzyżem, którą pokrywa się z rysunkiem płytki ogniskowej P_o , a następnie przez płytkę i okular O_k oglądany jest przez obserwatora O . Niech z założeń wstępnych odległość między przedmiotem a okiem obserwatora mierzona w poziomie wynosi M , natomiast w pionie N .



Rys. 6.1

W przyrządzie występuje dwukrotna zmiana kierunku promieni, raz w pryzmacie, drugi raz na zwierciadle i dlatego dwukrotnie musi być zastosowana operacja rozwijania. Niech odcinek PD przyrządu będzie fragmentem wspólnym obu schematów (rys. 6.1 i 6.2). Rozwinięcie pozostałej części układu dokonywane jest przez wyznaczenie jej zwierciadlanego



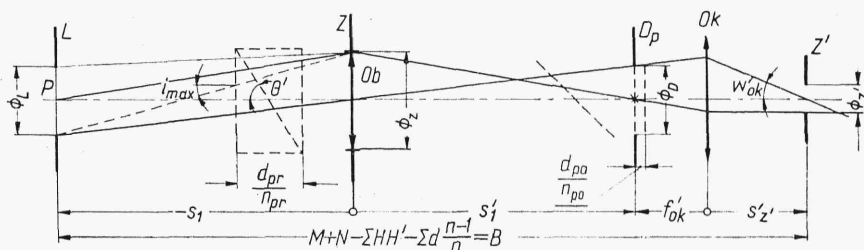
Rys. 6.2

obrazu względem płaszczyzny odbijającej. Charakterystyczne punkty DGK układu po pierwszym rozwinięciu przyjmują położenie $DG'K'$. Podobny zabieg należy przeprowadzić z częścią $G'K'$ układu, która wtedy zajmie położenie $G'K''$.

Ostatecznie, zamiast układu o dość złożonym przebiegu promieni (rys. 6.1) otrzymuje się układ o wspólnej osi optycznej PK'' . Odległość przedmiotu od oka będzie wynosiła teraz $M + N$. Zamiast pryzmatu łamiącego bieg promieni jest tu płytka płasko-równoległa. Przebieg promieni przez układ rozwinięty z pominięciem zmiany kierunku jest całkowicie równoważny poprzedniemu. Szczególnie cenne jest takie przedstawienie, gdy oś układu optycznego jest łamana przestrzennie.

W dalszej części rozważań zostanie wykazane, że poza przyrządami spektralnymi, konstrukcja pryzmatów powinna zapewniać ich rozwijalność w płytkę płasko-równoległą, gdyż w przeciwnym razie wprowadzają one dodatkowo aberrację chromatyczną wielkości. Gdyby wpływ jej można było pominąć, np. przy oświetleniu monochromatycznym i zasada pracy przyrządu wymagałaby pryzmatu rozwijalnego w klin lub pryzmat, wówczas oś optyczna układu rozwiniętego nie byłaby pojedynczą linią prostą.

Rozwinięty układ nie pozwala niestety na ocenę znaku powiększenia przyrządu, które może być ponadto różne w różnych przekrojach południkowych, nie daje również informacji o ewentualnym kącie obrotu płaszczyzny obrazu wokół osi optycznej, lub usytuowaniu jej w przestrzeni. Te parametry zależą również od budowy pryzmatów i muszą być ustalone przy projektowaniu szkicowym.

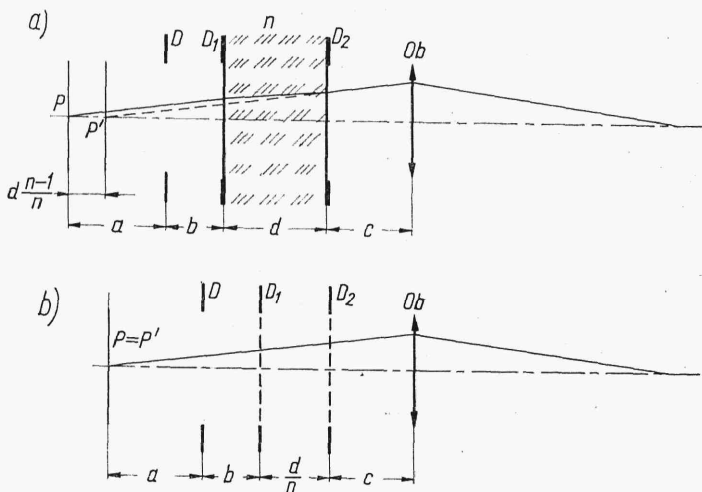


Rys. 6.3

W rozważanym układzie (rys. 6.2) z uwagi na zbyt dużą liczbę niewiadomych rozwinięcie układu można jeszcze sprowadzić do prostszej postaci. Mianowicie najpierw zakłada się, że wszystkie niezależne elementy optyczne ogniskujące są cienkie i bez aberracji (rys. 6.3). Założenie pierwsze pociąga za sobą na schemacie zmianę odległości przedmiotu od obserwatora o sumę odległości między płaszczyznami głównymi wszystkich niezależnych elementów. Ponieważ elementy te nie są jeszcze znane, to poprawkę oznaczoną tu przez $\Sigma HH'$ należy uwzględnić szacunkowo na podstawie znanych układów lub nawet pominąć jeżeli odległości M i N nie muszą być dokładnie utrzymane. W przypadkach, kiedy błąd popełniony przy szacowaniu odległości płaszczyzn głównych może mieć wpływ na niedopuszczalną zmianę pewnych parametrów (np. powiększenie układu), wówczas istnieje konieczność rozwiązania zagadnienia drogą kolejnych przybliżeń przez założenie wspomnianej odległości i porównanie jej z otrzymaną po ostatecznym skorygowaniu aberracji układu. Uważanie po-

szczególnych układów w obliczeniach gabarytowych za doskonałe jest o tyle usprawiedliwione, że będą one w przyrządzie elementami o skorygowanych aberracjach.

Wiadomo z punktu 2.4.3, że dla płytki płasko-równoległej w przestrzeni przysiowej niezależnie od położenia przedmiotu obraz jest względem niego przesunięty wzdłuż osi o odległość $d(n-1)/n$, gdzie d jest grubością płytki, a n jej współczynnikiem załamania.



Rys. 6.4

Powiększenia spełniają zależność $\alpha = \beta = \gamma = 1$, a więc obraz jest dokładnie taki sam jak przedmiot. Oznacza to, że jeżeli P (rys. 6.4a) jest płaszczyzną przedmiotu i chce się wiedzieć, w jaki sposób jest ona przekształcana przez układ złożony z płytki i obiektywu, wystarczy rozpatrzyć przekształcenie płaszczyzny P' przez sam obiektyw, gdzie P' jako obraz P dany przez płytkę jest przesunięty względem P o $(n-1)d/n$.

Powstaje w ten sposób układ zastępczy (rys. 6.4b), w którym dla zachowania równoważności w porównaniu z układem rzeczywistym skracane są odległości między wszystkimi elementami znajdującymi się z jednej strony w przestrzeni przedmiotowej i drugiej obrazowej pomijanej płytki.

Gdyby przed płytką znajdowała się dowolna przysłona D , to w układzie zastępczym również i ona uległaby przesunięciu o wspomnianą odległość z uwagi na niezależność przesunięcia i powiększenia od położenia przedmiotu. W szczególności, gdyby na obu powierzchniach płytki znajdowały się dwie przysłony D_1 i D_2 w rzeczywistości leżące w odległości d od siebie, to w układzie zastępczym ich odległość $(D_1 D_2)$ wyniesie

$$(D_1 D_2) = d - d \frac{n-1}{n} = \frac{d}{n}$$

A więc płytce o grubości d odpowiada w układzie zastępczym obszar ograniczony dwiema płaszczyznami równoległymi odległymi od siebie o d/n . Odległość $(D_1 D_2) = d/n$ nazywa się *grubością zredukowaną płytki* do ośrodka o współczynniku załamania 1 (do powietrza). Pojęcia tego nie należy mylić z drogą optyczną, kiedy rzeczywista odległość mnożona jest przez współczynnik załamania ośrodka.

I tak powracając do rys. 6.2 odległość między przedmiotem P i płaszczyzną główną przedmiotową obiektywu wynosi g , ale przedmiot znajduje się w przestrzeni przedmiotowej płytki, natomiast obiektyw w jej przestrzeni obrazowej. W układzie równoważnym bez płytki (rys. 6.3) odległość s_1 między przedmiotem P a obiektywem z uwzględnieniem znaków wyniesie teraz

$$s_1 = g + d_{pr} \frac{n_{pr} - 1}{n_{pr}}$$

Aby wprowadzić zmianę odległości należy znać grubość płytki w układzie i współczynnik załamania materiału, z którego jest zbudowana. Grubość d z kolei w przypadku pryzmatu zależy od jego rodzaju oraz średnicy wiązki promieni przechodzącej przez pryzmat, która ogólnie nie jest znana i zostanie dopiero dokładnie ustalona po wyznaczeniu wszystkich parametrów w układzie. Zagadnienie to jest rozwiązywane podobnie, jak dla odległości płaszczyzn głównych, drogą szacowania średnicy wiązki na podstawie przypuszczalnej średnicy obiektywu lub pola widzenia, bądź też, w przypadkach zupełnie nieznanymi, drogą założenia i sprawdzenia prawidłowości przyjętych założeń po ostatecznym ustaleniu gabarytów przyrządu. Podobna trudność występuje przy określeniu współczynnika załamania, który dla pryzmatu jest wyznaczany z warunku zachowania całkowitego odbicia dla wszystkich promieni przechodzących przez układ.

Jeżeli w układzie optycznym przyrządu znajduje się kilka płytek, to zabieg skracania odległości należy powtórzyć dla każdej z nich. Na rys. 6.3 w porównaniu z rys. 6.2 oprócz zmiany odległości przedmiotu od obiektywu również nastąpiło skrócenie odległości okularu od przysłony D_p o $d_{p0} (n_{p0} - 1)/n_{p0}$. Łączną zmianę odległości oka obserwatora od przedmiotu oznaczono tu przez $\Sigma d(n - 1)/n$.

Wszystkie te szczegółowe rozważania przy przejściu do układu zastępczego łącznie z poszukiwaniem rozwiązania drogą kolejnych przybliżeń można pominąć, jeżeli istnieje swoboda w doborze rozmieszczenia elementów.

Obecnie w celu ustalenia parametrów elementów składowych i skontrolowania poprawności założeń projektu szkicowego opisuje się analitycznie sposób przekształcenia promieni założony uprzednio przy wstępnym rozrysowaniu.

W pierwszej kolejności wyznacza się wielkości skierowane wzdłuż osi optycznej, a więc położenie elementów i ich ogniskowe. W tym celu rozpisywane są równania wiążące odległości przedmiotu i obrazu z ogniskową każdego elementu zarówno dla promienia aperturowego i polowego. Dochodzi do tego zależność na powiększenie przyrządu oraz warunki na jego długość.

Jako przykład rozważony zostanie układ pokazany na rys. 6.3.

Obraz przedmiotu P powstaje w płaszczyźnie zaznaczonej krzyżem i zgodnie z oznaczeniami na rysunku będzie

$$\frac{1}{s'_1} - \frac{1}{s_1} = \frac{1}{f'_{ob}} \quad (6.1)$$

Ponieważ przyrząd jest wizualny, to dla układu w stanie podstawowym ognisko przedmiotowe okularu powinno pokrywać się z obrazem danym przez obiektyw, stąd odległość od okularu do płaszczyzny krzyża

wynosi f'_{ok} . Dla osób ze sferycznymi wadami refrakcji musi być zapewniony przesuw dioptryjny okularu.

Niech dla prostoty rozważań żrenica wejściowa Z układu leży w płaszczyźnie obiektywu. Jej obrazem danym przez układ jest żrenica wyjściowa Z' . Zgodnie z równaniem *Newtona* dla okularu, ponieważ $x = -s'_1$ i $x' = s'_z - f'_{ok}$, będzie

$$s'_1(s'_z - f'_{ok}) = f'^2_{ok} \quad (6.2)$$

Jeśli projektowany układ jest mikroskopem, to zgodnie z równaniem (5.32) dla jego powiększenia wizualnego

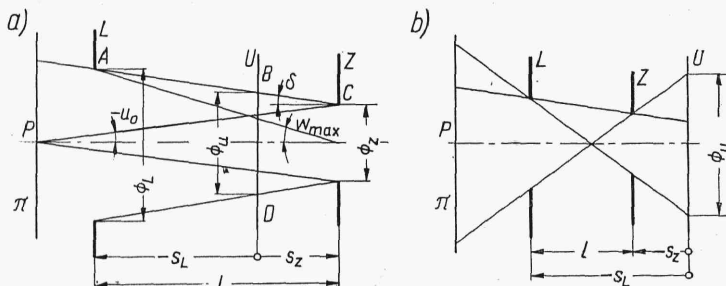
$$G = \beta_{ob} \frac{250}{f'_{ok}} = \frac{s'_1}{s_1} \frac{250}{f'_{ok}} \quad (6.3)$$

Pozostaje jeszcze warunek na długość całego układu zgodnie z oznaczeniem rys. 6.3

$$B = -s_1 + s'_1 + f'_{ok} + s'_z \quad (6.4)$$

Niech w założeniach wstępnych ustalonymi parametrami będą długość przyrządu B i jego powiększenie wizualne G . Do wyznaczenia pozostaje więc pięć niewiadomych f'_{ob} , f'_{ok} , s_1 , s'_1 i s'_z . Niezależnych równań (6.1) — (6.4) jest cztery, co oznacza, że istnieje pewna dowolność w wyborze jednej z wielkości. Pozostałe zostaną znalezione na drodze rozwiązania wyżej wymienionych równań.

Szukanie ogólnego rozwiązania przez wyznaczenie parametrów nieznanych, jako funkcji wielkości zakładanych, aczkolwiek pozwala uwypuklić ich wzajemną zależność, jest w praktyce, zwłaszcza przy bardziej złożonych układach, bardzo kłopotliwe. Najczęściej szuka się rozwiązania szczegółowego metodą kolejnych podstawień.



Rys. 6.5

Po ustaleniu wielkości skierowanych wzdłuż osi optycznej przechodzi się do wstępnych obliczeń średnic poszczególnych elementów. Niech dla pierwszego elementu U (rys. 6.5a) L będzie luką a Z żrenicą wejściową układu. Odległości s_z i s_L znane są z poprzednich rozważań, natomiast średnice Φ_L i Φ_z ustalone zostały w założeniach wstępnych.

Aby element U , zgodnie z rysunkiem, nie miał wpływu na kształt pęku przechodzącego przez układ bez winietowania geometrycznego, jego średnica musi być nie mniejsza niż odcinek BD , przy czym punkty B i D wyznaczone zostały przez skrajne promienie przechodzące przez brzożenicy i lukę. Konstrukcja pokazana na rysunku może być podstawą do wykreślnego wyznaczenia średnicy elementu. Może ona być również wy-

znaczona analitycznie. Zgodnie z oznaczeniami na rysunku minimalna średnica elementu wyniesie

$$\Phi_u = \Phi_z + 2s_z \operatorname{tg} \delta = \Phi_z + \frac{\Phi_L - \Phi_z}{s_z - s_L} s_z$$

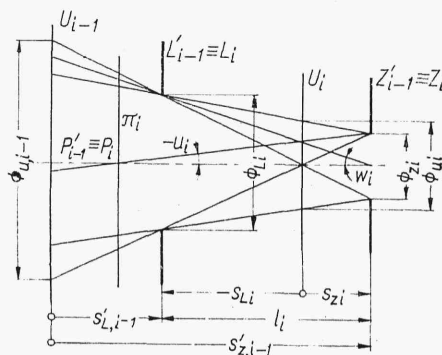
Ostatecznie po przekształceniach

$$\Phi_u = \frac{|\Phi_L s_z| + |\Phi_z s_L|}{l} \quad (6.5)$$

gdzie Φ_u — jest minimalną średnicą elementu, zaś $l = s_z - s_L$ odległością między luką a źrenicą. Wartość bezwzględna mieszanych iloczynów średnic łuki i źrenicy przez ich odległości od elementu wynika z ogólnego uwzględnienia również przypadku pokazanego na rys. 6.5b.

Podaną metodę można uogólnić na dowolny i -ty element U_i w układzie (rys. 6.6). Mianowicie w przestrzeni przedmiotowej i -tego elementu można odwzorować obrazy źrenicy i łuki wejściowej całego układu lub, co na jedno wychodzi, przysłony aperturowej i polowej. Będą one miały określone średnice Φ_{zi} i Φ_{Li} oraz odległości s_{zi} i s_{Li} od tego elementu. Wartości ich można wyznaczyć z praw łączących elementy sprzężone przestrzeni, w której znajdują się przysłona aperturowa, lub polowa z przestrzenią przedmiotową i -tego elementu. Wówczas przez analogię do wyrażenia (6.5)

$$\Phi_{ui} = \frac{|\Phi_{Li} s_{zi}| + |\Phi_{zi} s_{Li}|}{l_i} \quad (6.6a)$$



Rys. 6.6

Ponieważ przestrzeń przedmiotowa układu U_i jest obrazową dla U_{i-1} , a rola przysłon (p. 2.5) nie zależy od wybranej przestrzeni, to można natychmiast z rys. 6.6 wyznaczyć również średnicę elementu $i-1$. Zgodnie z oznaczeniami na rysunku wtedy

$$\Phi_{u,i-1} = \frac{|\Phi_{Li} s'_{z,i-1}| + |\Phi_{zi} s'_{L,i-1}|}{l_i} \quad (6.6b)$$

A więc w celu ustalenia minimalnej średnicy elementu, który nie zmieniałby założonego kształtu pęku promieni przenoszonego przez układ, wystarczy zgodnie ze wzorami (6.6) wyznaczyć w przestrzeni przedmiotowej lub obrazowej tego elementu obrazy przysłony polowej i aperturowej.

W szczególnych przypadkach, jeżeli jeden ze wspomnianych obrazów znajduje się nieskończenie daleko, wówczas wzory (6.5) i (6.6) przyjmują prostszą postać. Dla $s_{Li} = \infty$, tzn. gdy obraz przysłony połowej znajduje się w nieskończoności otrzymuje się

$$\Phi_{ui} = \Phi_{zi} + 2 |s_{zi} \operatorname{tg} w_{i \max}| \quad (6.7a)$$

zaś dla $s_{zi} = \infty$, tzn. gdy obraz przysłony aperturowej leży nieskończenie daleko — telecentryczny bieg promieni w przestrzeni przedmiotowej i -tego elementu

$$\Phi_{ui} = \Phi_{Li} + 2 |s_{Li} \operatorname{tg} u_i| \quad (6.7b)$$

gdzie zgodnie z rysunkiem (6.6): u_i — maksymalny kąt aperturowy, a $w_{i \max}$ — kąt pola widzenia, odniesione do przestrzeni przedmiotowej elementu i . Płaszczyzna π_i jest sprzężona z płaszczyzną π przedmiotu dla całego układu (rys. 6.5a).

Aby wyznaczyć minimalną średnicę elementu $i - 1$, zamiast s_{zi} i s_{Li} we wzorach (6.7) należy odpowiednio wstawić $s'_{z,i-1}$ i $s'_{L,i-1}$.

Dla przykładu omówiona metoda zostanie obecnie wykorzystana do wyznaczenia średnic obiektywu i okularu w układzie pokazanym na rys. 6.3. Wielkości te można ustalić niezależnie dla obiektywu i okularu wychodząc z przestrzeni przedmiotowej lub obrazowej jednego i drugiego elementu. Najprościej jest posłużyć się przestrzenią między obydwoma elementami, gdyż pokrywa się ona jednocześnie z przestrzenią obrazową obiektywu i przedmiotową okularu. Ponieważ źrenica wejściowa układu znajduje się w płaszczyźnie obiektywu, to jej obraz dany przez obiektyw również znajduje się w tym samym miejscu. Jak to zaznaczono w p. 2.5.1, aby pole widzenia było ostro ograniczone, luka wejściowa powinna pokrywać się z płaszczyzną przedmiotu. Łatwo w tym przypadku to osiągnąć przez wstawienie przysłony D_p w płaszczyźnie obrazu rzeczywistego. Jej średnica będzie określona przez założoną średnicę przedmiotowego pola widzenia Φ_L i powiększenie obiektywu. Wyniesie ona

$$\Phi_D = \Phi_L \left| \frac{s'_1}{s_1} \right| = \Phi_L |\beta_{ob}|$$

Do obliczeń przyjęto tu bezwzględną wartość powiększenia, gdyż jego znak jest w tym przypadku nieistotny. Średnica źrenicy wejściowej Φ_z została ustalona w założeniach wstępnych. Przy wyznaczeniu średnicy Φ_{ob} obiektywu zgodnie z równaniem (6.6b) $\Phi'_{Li} = \Phi_D$; $s_{z,i-1} = 0$; $\Phi_{zi} = \Phi_z$; $s'_{L,i-1} = s'_1$ i $l_i = s'_1$, stąd ostatecznie $\Phi_{ob} = \Phi_z$. A więc średnica obiektywu zależy w tym przypadku tylko od średnicy źrenicy wejściowej układu.

Dla średnicy Φ_{ok} okularu zgodnie z równaniem (6.6a) $\Phi_{Li} = \Phi_D$; $s_{zi} = -(s'_1 + f'_{ok})$; $\Phi_{zi} = \Phi_z$; $s_{Li} = -f'_{ok}$ i $l_i = s'_1$, a więc

$$\Phi_{ok} = \frac{\Phi_D(s'_1 + f'_{ok}) + \Phi_z f'_{ok}}{s'_1} \quad (6.8a)$$

Wychodząc np. z przestrzeni obrazowej okularu, ponieważ luka wyjściowa układu jako obraz przysłony D_p dany przez okular jest nieskończenie odległa, to przez analogię do wyrażenia (6.7a)

$$\Phi_{ok} = \Phi_z' + 2 |s'_z \operatorname{tg} w'_{ok}| \quad (6.8b)$$

Łatwo wykazać, że prawe strony obydwu równań (6.8) są sobie równe.

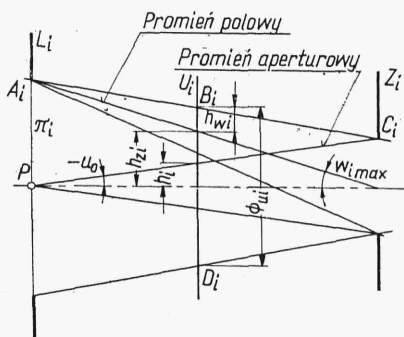
Omówiona tu technika wyznaczania średnic elementów, bardzo naturalna przy małej ich liczbie, staje się dość uciążliwa przy skomplikowanym

układzie. Przedstawiona zostanie również inna metoda, pozwalająca na wprowadzenie pewnej systematyki w programowaniu zmian gabarytów poszczególnych elementów i dlatego szczególnie odpowiednia do układów wieloelementowych. Rezultaty tylko w tym przypadku są poprawne i pokrywające się z wynikami otrzymanymi za pomocą poprzedniej metody, gdy luka wejściowa układu pokrywa się z płaszczyzną przedmiotu.

Niech π_i (rys. 6.7) będzie płaszczyzną przestrzeni przedmiotowej i -tego elementu sprzężoną z płaszczyzną przedmiotu, L_i — przysłoną sprzężoną z przysłoną pola układu, Z_i — z przysłoną aperturową. Zgodnie z rysunkiem minimalna średnica elementu U_i wynosi

$$\Phi_{ui} = B_i D_i = 2(h_{zi} + h_{wi}) = 2(h_{zi} + h_i)$$

ponieważ $h_{wi} = h_i$.



Rys. 6.7

Ale h_{zi} jest wysokością padania skrajnego promienia polowego (przechodzącego przez brzeg luki) na element i , natomiast h_i — skrajnego promienia aperturowego (przechodzącego przez brzeg źrenicy). Ponieważ cieżki promień polowy lub aperturowy mogą przebiegać również pod osią optyczną, to ostatecznie dla dowolnego elementu

$$\Phi_{ui} = 2(|h_i| + |h_{zi}|) \quad (6.9)$$

A więc do wyznaczenia minimalnej średnicy dowolnego elementu w układzie wystarczy znać tylko wysokości padania na dany element dwóch skrajnych promieni układu: polowego i aperturowego.

Wzór (6.9) można zastosować do poprzednio rozważanego przykładu (rys. 6.3), ponieważ luka wejściowa leży w płaszczyźnie przedmiotu.

Dla obiektywu zgodnie z rysunkiem $|h_{ob}| = \Phi_z/2$, $h_{zob} = 0$, a więc $\Phi_{ob} = \Phi_z$. Natomiast dla okularu

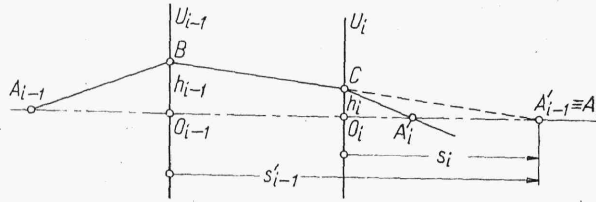
$$|h_{ok}| = \frac{\Phi_z}{2} \frac{f'_{ok}}{s'_1}; \quad |h_{zok}| = \frac{\Phi_D}{2} \frac{f'_{ok} + s'_1}{s'_1}$$

co po podstawieniu do równania (6.9) daje wynik identyczny ze wzorem (6.8a).

Do obliczeń wygodniej jest przepisać zależność (6.9) w postaci

$$\Phi_{ui} = 2 \left(|h_1| \left| \frac{h_i}{h_1} \right| + |h_{z1}| \left| \frac{h_{zi}}{h_{z1}} \right| \right) \quad (6.10)$$

Względne wartości wysokości promienia aperturowego (h_i/h_1) i polowego (h_{zi}/h_{z1}) na i -ty element można znaleźć ze znanych parametrów promieni wyznaczonych wzdłuż osi.



Rys. 6.8

Niech A_{i-1} (rys. 6.8) będzie punktem osiowym leżącym w płaszczyźnie sprzężonej z płaszczyzną przedmiotu lub przysłony aperturowej. Promień $A_{i-1}BCA'_i$ będzie wtedy promieniem aperturowym lub polowym, zaś h_{i-1} , h_i — wysokościami padania promieni na elementy U_{i-1} i U_i . Obrazem A_{i-1} danym przez element U_{i-1} jest punkt A'_{i-1} , który jest równocześnie przedmiotem dla elementu U_i . Z rysunku można napisać

$$\frac{h_i}{h_{i-1}} = \frac{s_i}{s'_{i-1}}$$

lub

$$\frac{h_i}{h_{i-1}} = \frac{h_{i-1}}{h_1} \frac{s_i}{s'_{i-1}} \quad (6.11)$$

Jest to wzór rekurencyjny pozwalający wyznaczyć względną wysokość padania promienia na element i , jeżeli jest ona znana dla elementu $i - 1$. W szczególności

$$\text{dla } i = 2 \quad \frac{h_2}{h_1} = \frac{s_2}{s_1};$$

$$\text{dla } i = 3 \quad \frac{h_3}{h_1} = \frac{h_2}{h_1} \frac{s_3}{s'_2} \text{ itd.}$$

Wysokości padania h_1 i h_{z1} — skrajnego promienia aperturowego i polowego na element pierwszy zgodnie z rys. 6.9 można wyznaczyć w zależności

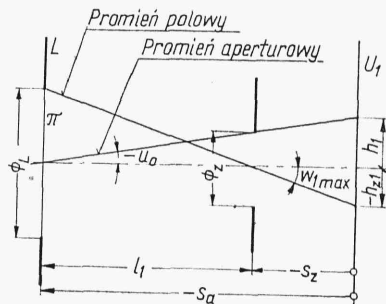
$$\begin{aligned} |h_1| &= |s_a \operatorname{tg} u_0| = \frac{1}{2} \left| \frac{\Phi_z s_a}{l_1} \right| \\ |h_{z1}| &= |s_z \operatorname{tg} w_{1 \max}| = \frac{1}{2} \left| \frac{\Phi_L s_z}{l_1} \right| \end{aligned} \quad (6.12)$$

gdzie:

- u_0 — maksymalny kąt aperturowy przestrzeni przedmiotowej układu,
- $w_{1 \max}$ — przedmiotowy kąt pola widzenia,
- s_a — odległość płaszczyzny przedmiotu i luki wejściowej od pierwszego elementu,
- s_z — odległość źrenicy wejściowej od pierwszego elementu,
- Φ_L — średnica luki wejściowej,
- Φ_z — średnica źrenicy wejściowej,
- l_1 — odległość źrenicy od luki (przedmiotu).

W szczególnych przypadkach, jeżeli przedmiot jest nieskończenie odległy ($s_a = \infty$) $h_1 = \Phi_z/2$, natomiast dla telecentrycznego biegu promieni ($s_z = \infty$) $h_{z1} = \Phi_L/2$.

Równania (6.9) oraz (6.10) lub (6.12) rozwiązują zagadnienia wyznaczenia średnic poszczególnych elementów w układzie.

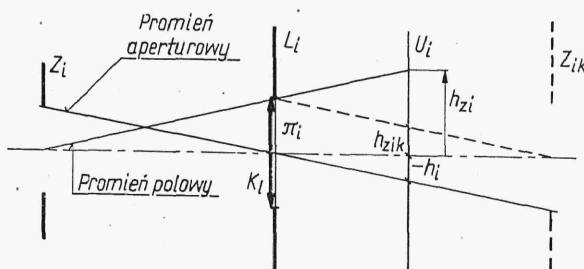


Rys. 6.9

Należy tylko podkreślić, że wymiary te odnoszą się do układów cienkich, a więc wyniki uzyskane tą metodą są tylko wtedy prawidłowe, jeżeli element spełnia ten warunek choćby w przybliżeniu.

I tak powracając do układu pokazanego na rys. 6.3, wzór (6.8a) ustala średnicę okularu tylko w tym przypadku, jeżeli jego grubość w porównaniu z ogniskową jest mała. Dla bardziej złożonej budowy okularu lub innego dowolnego elementu, istnieje konieczność zróżnicowania wymiarów poszczególnych członów tego elementu. Gdyby okular był np. typu *Kellnera* (rys. 5.25a), to trzeba byłoby przyjąć, że jest on złożony z dwóch różnych elementów cienkich.

Przedstawione tu metody wyznaczania średnic elementów wskazują na sposób obliczeń, gdy znane są ich parametry w układzie, lecz nie wynika z nich jasno, czy można świadomie z pominięciem metody prób wpływać na ich gabaryty. Jako ilustrację odwrotnego procesu zostaną opisane właściwości kolektywu, niezwykle ważnego elementu w konstrukcji układów optycznych, który jeżeli zostanie przyjęty za układ doskonały, nie będzie wpływał na obraz przedmiotu, ale pozwoli równocześnie kształtować wiązkę promieni przenoszoną przez układ.



Rys. 6.10

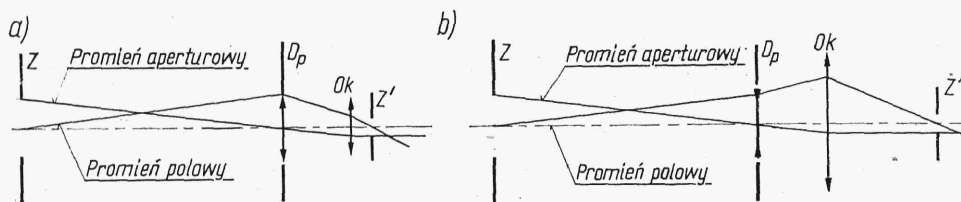
Niech $Z_i L_i$ (rys. 6.10) będą obrazami odpowiednio przysłony aperturowej i polowej w przestrzeni przedmiotowej i -tego elementu. Płaszczyzna π_i jest rzeczywistym obrazem płaszczyzny przedmiotu w tej przestrzeni.

Średnica elementu U_i określana jest wzorem (6.9); będzie ona zawsze większa niż średnica jednej z przysłon Z_i lub L_i . W konkretnym układzie pokazanym na rysunku jest ona większa niż przysłona L_i . Zastanówmy się, co zmieni się w układzie, jeżeli w płaszczyźnie przedmiotu ustawiony będzie układ o pewnej mocy, nazywany wtedy kolektywem Kl ? Obraz płaszczyzny π_i dany przez kolektyw i będący przedmiotem dla układu U_i będzie się również pokrywał z płaszczyzną π_i . Powiększenie poprzeczne kolektywu niezależnie od jego mocy dla płaszczyzny π_i wyniesie $\beta = 1$, a więc obraz jest tej samej wielkości co i przedmiot. Przy założeniu, że kolektyw jest układem doskonałym i cienkim, nie ma on żadnego wpływu na położenie i kształt obrazu dawanego przez układ, a więc i na przebieg promienia aperturowego. Ulegnie zmianie natomiast położenie i średnica obrazu przysłony aperturowej Z_{ik} w przestrzeni przedmiotowej układu U_i . Zmiana ta zależy będzie od ogniskowej kolektywu. Na rys. 6.10 przykładowe położenie przysłony łącznie z promieniem połowym oznaczono linią przerywaną. Teraz średnica elementu U_i w układzie z kolektywem wyniesie

$$\Phi_{ui} = 2(|h_{zik}| + |h_i|)$$

Może ona być mniejsza od średnicy elementu w układzie bez kolektywu. Dla przykładu na rys. 6.10 zmniejszenie wysokości padania promienia połowego na element zachodzić będzie dla kolektywu o mocy dodatniej. Można tak dobrać nawet jego ogniskową, aby $h_{zik} = 0$, wtedy obraz przysłony aperturowej Z_{ik} pokrywa się z płaszczyzną elementu U_i i jego średnica dla ustalonego przebiegu promienia aperturowego przyjmuje minimalną wartość.

Można wykazać, że elementy które mogą być uznane za cienkie, dla przedmiotów leżących w ich płaszczyźnie nie wnoszą aberracji, poza krzywizną pola i zależną od kształtu elementu dystorsję. W związku z tym kolektywy mają budowę prostą i najczęściej spotyka się je w postaci pojedynczej soczewki. Może to prowadzić do dość znacznych aberracji w źrenicach, co w przyrządach wizualnych jest przyczyną powstania zjawiska winietowania pewnych stref obrazu (p. 5.2.4).



Rys. 6.11

Powracając do rozważanego poprzednio przykładu (rys. 6.3) przez wstawienie kolektywu o dodatniej mocy w płaszczyznę przysłony połowej D_p , można zmniejszyć gabaryty okularu (rys. 6.11a). Wiąże się to jednak z przysunięciem źrenicy wyjściowej do układu, przy czym jej odległość od ostatniej powierzchni układu nie może być zbyt mała, z uwagi na konieczność pokrycia źrenicy wyjściowej przyrządu ze źrenicą wejściową oka. Jeżeli odległość oka od przyrządu musi być dość znaczna, wówczas wstawiany jest kolektyw o mocy ujemnej (rys. 6.11b), co z kolei powoduje zwiększenie średnicy układu.

Trzeba tu podkreślić, że konstrukcji samego okularu, w odróżnieniu np. od układów odwracających soczewkowych, nie można oddzielać od konstrukcji kolektYWu. Przez okular rozumiany jest prawie zawsze kolektYW z jego pozostałymi elementami. To kompleksowe ujęcie konstrukcji spowodowane jest dwoma przyczynami. Po pierwsze z uwagi na obecność płytki ogniskowej i konieczność zachowania ruchu dioptryjnego, kolektYW jest zwykle przesunięty względem płaszczyzny przedmiotu. Powoduje to wzrost aberracji wnoszonych przez kolektYW, które muszą być skompensowane przez pozostałą część okularu. Po drugie, w zależności od położenia źrenicy wejściowej okularu, moc kolektYWu i jego aberracje w źrenicach ustalają przebiegi promieni głównych, dla których z kolei korygowane są odpowiednio aberracje polowe. Z uwagi na stosowane w okularach dość duże kąty polowe, zmiany położenia promieni głównych mogą prowadzić do niedopuszczalnych zmian aberracji.

Przykładami omawianych tu zagadnień związanych z kolektYWami są okulary *Kellnera* oraz okulary z odsuniętą źrenicą (rys. 5.25). W pierwszym przypadku dzięki soczewce o dodatniej mocy zmniejszono średnicę drugiego elementu, natomiast w drugim — pierwsza soczewka ujemna umożliwiła odsunięcie źrenicy od ostatniej powierzchni okularu.

Wszystkie dotychczasowe rozważania o wymiarach elementów optycznych prowadzone były przy założeniu, że nie wpływają one na kształt pęków promieni przenoszonych przez układ. Przypadek taki z punktu widzenia energetycznego jest najbardziej korzystny. Z drugiej strony jednak wiadomo, że w celu zmniejszenia gabarytów przyrządu dopuszczalne jest zjawisko winietowania geometrycznego. Wtedy wyznaczanie średnic elementów, których wymiar w istotny sposób wpływa na gabaryty przyrządu, nie może być przeprowadzane tak ogólnie, gdyż kształt przenoszonych wiązek zależy od położenia elementów wprowadzających winietowanie oraz wzajemnego przenikania się pęków aperturowych dla środka i brzegu pola. W przestrzeni przedmiotowej lub obrazowej każdego elementu, oprócz źrenicy i luki, należy wtedy brać pod uwagę również przysłony wprowadzające winietowanie. Można także rozrysować cały układ optyczny i prześledzić przebieg pęku aperturowego dla środka pola i jego brzegu.

Powracając do głównego tematu obliczeń gabarytowych, w wyniku dotychczasowych rozważań konstruktor otrzymuje schemat zastępczy układu optycznego, jako zbiór elementów cienkich o znanych średnicach, ogniskowych i ich rozmieszczeniu. Dla każdego z elementów znany jest poza tym przebieg promieni aperturowych i polowych oraz maksymalne kąty jakie one tworzą z osią optyczną (kąty aperturowe i polowe).

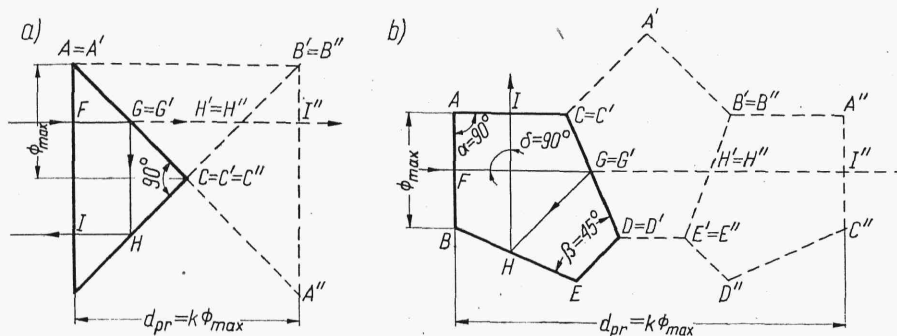
Na podstawie tych parametrów można już przystąpić do drugiego etapu obliczeń, to jest do nadania kształtów elementom, bądź na drodze korekcji aberracji, bądź przez adaptowanie istniejących rozwiązań.

Tematowi temu poświęcony jest punkt 6.2.

Obecnie zostanie omówione zagadnienie konstrukcji pryzmatów, których wpływ w poprzednich rozwiązaniach został prowizorycznie uwzględniony przez odpowiednią zmianę odległości między elementami.

W układach optycznych spotykane są różne rodzaje pryzmatów, które spełniają różnorakie zadania. Rozpatrywany pryzmat prostokątny z jednym odbiciem (rys. 6.1) miał za zadanie zmienić kierunek osi o kąt 90° . Pryzmat prostokątny z dwoma odbiciami (rys. 6.12a) odwraca oś o 180° , natomiast pryzmat pentagonalny (rys. 6.12b) daje tę samą zmianę kie-

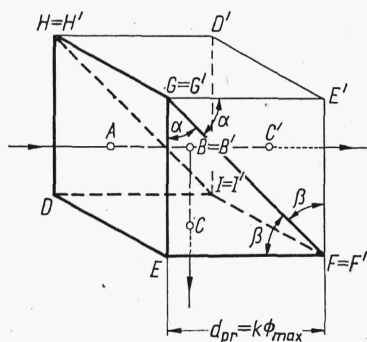
runku co w pierwszym przypadku (o 90°), ale przy dwóch odbiciach, dzięki czemu obraz jest podobny do przedmiotu (p. 5.2.4). Można wykazać poza tym, że dla pryzmatu pentagonalnego kąt prosty między złamanymi osiami nie ulega zmianie przy jego obrocie, co jest szczególnie cenną własnością, przy niektórych przyrządach pomiarowych (dalmierzach).



Rys. 6.12

W ogólnym przypadku można zbudować takie pryzmaty lub zespoły pryzmatów, które będą dawały różne kąty między osiami, spełniały różne zadania, jak odwracanie obrazu (p. 5.2.4) lub obracanie o dowolny kąt wokół osi optycznej (np. pryzmat *Dove-Wollastona*) itp., lecz zagadnienia konstrukcyjne pozostaną dla nich te same [1], [2].

W celu rozpatrzenia biegu promieni w pryzmacie, podobnie jak to było dla układu (rys. 6.1), najwygodniej jest go przedstawić w postaci rozwiniętej przez zwierciadlane wyznaczenie obrazu pryzmatu względem płaszczyzny odbijającej. Zabieg rozwijania ma charakter przestrzenny i dla prostoty rozważań zostanie przeprowadzony tylko dla pryzmatu z jednym odbiciem (rys. 6.13). Rozwinięcie pryzmatu zaznaczone jest linią cienką.



Rys. 6.13

Punkty C' , D' i E' są odpowiednio obrazami punktów C , D i E danymi przez zwierciadło płaskie $HIFG$. Zamiast przestrzennie biegnącego promienia ABC wystarczy rozważyć promień ABC' leżący na prostej. Jego przebieg przez pryzmat z jednokrotnym odbiciem, pomijając zmianę kierunku i problem odwracania obrazów w różnych płaszczyznach południkowych (p. 5.2.4) jest równoważny przejściu promienia przez sześcián o płaszczyznach załamujących $HDEG$ i $D'I'F'E'$.

Ogólnie biorąc płaszczyzny te nie muszą być równoległe i wtedy pryzmat w rozwinięciu tworzy element klinowy, który zgodnie z p. 2.6.2 będzie dawał w płaszczyźnie obrazu plamkę chromatyczną określoną wzorem (2.111). W związku z tym pryzmat powinien być tak konstruowany, aby po rozwinięciu powstawała płytka płasko-równoległa. Oznacza to, że w rozpatrywanym pryzmacie powinna być zachowana równoległość krawędzi DE do płaszczyzny odbijającej $GHIF$ oraz równość kątów jakie tworzą ściany boczne ze wspomnianą płaszczyzną ($\alpha = \beta$). Są to wymagania teoretyczne. W praktyce z uwagi na ziarnistą strukturę odbiornika można dopuścić pewien klin pryzmatu w rozwinięciu, którego chromatyzm odniesiony do płaszczyzny obrazu nie przekroczy dopuszczalnej wartości charakterystycznej dla danego odbiornika. Z tego warunku można wyznaczyć tolerancje wykonawcze pryzmatu na pochylenie krawędzi DE (piramidalność) i różnicę między kątami α i β .

W podobny sposób można rozpatrywać każdy z pryzmatów. Dla prostej dalej pominięta zostanie przestrzenna budowa pryzmatu i rozważania zostaną ograniczone tylko do jego głównego przekroju. W pryzmatach pokazanych na rys. 6.12 występuje dwukrotna zmiana kierunku promieni i stąd konieczność zastosowania dwukrotnego rozwinięcia. Pierwsze oznaczono odpowiednimi literami ze znacznikiem ' (prim), drugie natomiast ze znacznikiem '' (bis). Dla pryzmatu (rys. 6.12a) punkt B' jest obrazem punktu B danym przez zwierciadło AC , natomiast punkt A'' obrazem punktu A' dla zwierciadła $B'C'$. Podobnie dla pryzmatu pentagonalnego (rys. 6.12b) dla pierwszego rozwinięcia zwierciadłem jest ściana CD , dla drugiego — $B'E'$.

Łatwo można sformułować warunki, które muszą być spełnione, aby pryzmaty w rozwinięciu dawały płytki płasko-równoległe. Dla pryzmatu prostokątnego z dwoma odbiciami w płaszczyźnie rysunku (aby $B''A''$ było równoległe do AB) musi być utrzymany kąt 90° . W płaszczyźnie prostopadłej do rysunku krawędź C musi być równoległa do ściany AB . Dla pryzmatu pentagonalnego w płaszczyźnie rysunku powinien być spełniony warunek $\alpha = 2\beta$ i ponadto ściany boczne powinny być prostopadłe do wspólnej płaszczyzny zwanej bazą pryzmatu. Podobnie jak dla pryzmatu prostokątnego z jednym odbiciem, gdzie na chromatyzm pryzmatu wpływa różnica kątów $\alpha - \beta$ (rys. 6.13), a nie same wartości kątów α i β , tak i tu istotna jest różnica $\alpha - 2\beta$, a nie utrzymanie kąta 90° lub 45° niezależnie. Nie oznacza to, że wartości obydwu kątów są nieistotne, gdyż mają one wpływ na wielkość kąta δ między promieniem wchodzącym i wychodzącym z pryzmatu.

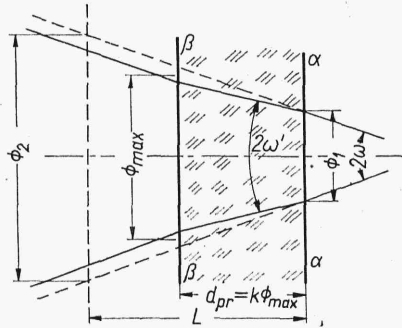
Jeżeli w układzie optycznym rozważana jest płytka płasko-równoległa, która powstała z rozwinięcia dowolnego pryzmatu, to do scharakteryzowania przebiegu promieni przez tę płytkę najczęściej wystarcza tylko znajomość jej grubości d_{pr} nazywanej długością pryzmatu w rozwinięciu, szkła z którego wykonany będzie pryzmat oraz maksymalnej średnicy Φ_{max} przekroju wiązki, która może przejść przez cały pryzmat. Dla danego typu pryzmatu istnieje proporcjonalność między długością pryzmatu d_{pr} i średnicą przekroju wiązki Φ_{max} i dlatego wygodnie jest to ująć równaniem

$$d_{pr} = k\Phi_{max} \quad (6.13)$$

gdzie k — współczynnik długości rozwinięcia stały dla danego typu pryzmatu. Przykładowo zgodnie z rysunkiem 6.13 i 6.12 dla pryzmatu pro-

stokątnego z jednym odbiciem $k = 1$, z dwoma odbiciami $k = 2$, natomiast dla pryzmatu pentagonalnego $k = 2 + \sqrt{2} = 3,41$.

Przystępując teraz do wyznaczenia gabarytów pryzmatu, niech w obszarze o współczynniku załamania 1, w którym ma być usytuowany pryzmat, wiązka promieni ma kształt stożka o znanym kącie rozwarcia 2ω (rys. 6.14). Niech ponadto ze względów konstrukcyjnych dopuszczalne po-



Rys. 6.14

łożenia płaszczyzn rozwiniętego pryzmatu będą oznaczone liniami przyrywanymi. Jeżeli istnieje swoboda w doborze położenia pryzmatu w tym obszarze, to ze względu na jego minimalne gabaryty należy jedną ze ścian pokryć z przekrojem o najmniejszej średnicy oznaczonej tu przez Φ_1 . Niech $\alpha - \alpha$ będzie ustaloną płaszczyzną rozwiniętego pryzmatu. Położenie drugiej płaszczyzny $\beta - \beta$ zależy od maksymalnej średnicy Φ_{max} pryzmatu, która również nie jest znana. W obszarze płytki rozwartość stożka wiązki promieni będzie wynosiła $2\omega'$, przy czym z prawa załamania $n \sin \omega' = \sin \omega$, gdzie n — współczynnik załamania szkła pryzmatu. Zgodnie z rysunkiem pryzmat nie będzie ograniczał wiązki przechodzącej, jeżeli

$$\Phi_1 + \Delta\Phi + 2k\Phi_{max} \operatorname{tg} \omega' \leq \Phi_{max}$$

gdzie $\Delta\Phi$ niezbędny naddatek na oprawę pryzmatu i przemieszczenia regulacyjne.

Ponieważ musi być spełnione $\operatorname{tg} \omega' < 1/2k$, stąd natychmiast

$$\Phi_{max} \geq \frac{\Phi_1 + \Delta\Phi}{1 - 2k \operatorname{tg} \omega'} \quad (6.14a)$$

lub wprowadzając prawo załamania ostatecznie

$$\Phi_{max} \geq \frac{\Phi_1 + \Delta\Phi}{1 - \frac{2k \sin \omega}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \omega}}} \quad (6.14b)$$

Wzory (6.14) pozwalają wyznaczyć maksymalną średnicę przekroju wiązki pryzmatu, jeżeli znany jest jej kąt rozwartości odniesiony do powietrza ω , lub szkła pryzmatu ω' . Wielkość Φ_1 jest minimalną średnicą wiązki na ustalonej w układzie ścianie pryzmatu.

Jeżeli maksymalna odległość między granicznie możliwymi położeniami płaszczyzn rozwiniętego pryzmatu wynosi L (rys. 6.14), to warunkiem koniecznym, który musi być spełniony przy konstrukcji jest

$$d_{pr} = k\Phi_{max} \leq L \quad (6.15)$$

a więc zgodnie z równaniem (6.14)

$$\operatorname{tg} \omega' \leq \frac{1}{2} \left(\frac{1}{k} - \frac{\Phi_1 + \Delta\Phi}{L} \right) \quad (6.16a)$$

$$\text{i ponadto} \quad k < \frac{L}{\Phi_1 + \Delta\Phi} \quad (6.16b)$$

ponieważ $\operatorname{tg} \omega'$ — ma mieć tylko wartości dodatnie.

Gdy w układzie ustalone jest położenie ściany pryzmatu pokrywającej się z przekrojem o większej średnicy wiązki oznaczonej tu przez Φ_2 , wówczas wystarczy tak dobrać pryzmat, aby jego $\Phi_{\max} \geq \Phi_2 + \Delta\Phi$ gdzie $\Delta\Phi$ jest wspomnianym poprzednio naddatkiem.

Zamiast rozważań analitycznych wygodnie jest często stosować projektowanie metodą wykreślną pozwalającą śledzić przebieg promieni przez rozwinięty pryzmat, a tym samym odpowiednio modyfikować jego kształty. Z jednej strony można wtedy analizować przebieg promieni odniesiony do szkła przez wyznaczenie kąta rozwartości stożka wiązki $2\omega'$ i średnicy Φ w jej określonym przekroju, z drugiej strony — do powietrza przez ustalenie zredukowanej postaci rozwiniętego pryzmatu. Za ilustrację drugiej metody może służyć przykład pryzmatu prostokątnego, którego kształt po redukcji pokazany jest na rys. 6.3. Kąt Θ' jaki tworzy płaszczyzna odbijająca z osią optyczną w układzie zredukowanym można wyznaczyć z zależności

$$\operatorname{tg} \Theta' = n \operatorname{tg} \Theta \quad (6.17)$$

gdzie:

Θ — kąt między osią optyczną a wspomnianą płaszczyzną w układzie rozwiniętym niezredukowanym,

n — współczynnik załamania szkła pryzmatu.

Ponieważ dla pryzmatu prostokątnego $\Theta = 45^\circ$ stąd $\operatorname{tg} \Theta' = n$.

Odniesienie kształtów pryzmatów do powietrza, z uwagi na prostotę interpretacji, ma szczególne zastosowanie do analizy układów pryzmatów, lecz należy pamiętać, że z powodu aberracji płytki jest to metoda przybliżona, ściśła tylko dla małych kątów aperturowych i polowych. Z uwagi na istniejącą najczęściej pewną swobodę w doborze wymiarów pryzmatów, w większości przypadków jest ona wystarczająco dokładna.

Aby określić materiał z którego ma być wykonywany pryzmat, należy sprawdzić, czy możliwe będzie zachowanie warunku całkowitego odbicia dla wszystkich promieni wiązki przechodzącej przez układ. W tym celu rozważany jest skrajny promień wiązki, który tworzy minimalny kąt padania z płaszczyzną odbijającą.

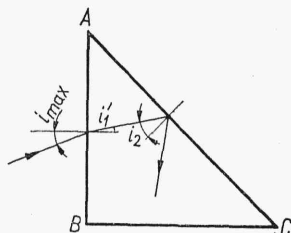
I tak przykładowo dla pryzmatu prostokątnego (rys. 6.3) promień ten narysowany jest linią przerywaną. Tworzy on kąt i_{\max} z osią optyczną, przy czym

$$\operatorname{tg} i_{\max} = \frac{\Phi_z + \Phi_L}{2|s_1|}$$

Zgodnie z rysunkiem 6.15 kąt padania i_2 tego promienia na przeciwprostokątną wyniesie $i_2 = 45^\circ - i'$, przy czym $n \sin i' = \sin i_{\max}$. Aby zachodziło zjawisko całkowitego odbicia współczynnik załamania materiału, z którego wykonany ma być pryzmat musi spełniać warunek

$$n > \frac{1}{\sin i_2}$$

W przeciwnym przypadku płaszczyzna odbijająca pryzmatu powinna być metalizowana i wtedy wpływ wartości współczynnika załamania na konstrukcję pryzmatu ma znaczenie drugorzędne. Przy wyborze materiału bierze się wówczas pod uwagę takie jego cechy jak absorpcję, zawartość pęcherzy, łatwość obróbki, cenę itp.



Rys. 6.15

Po ostatecznym ustaleniu kształtów poszczególnych elementów optycznych projektowanego układu, a więc szczegółowych parametrów obiektywów, okularów, pryzmatów, płytek itp. następuje odwrotny proces do opisanego na wstępie obliczeń gabarytowych. Z układu złożonego z elementów cienkich, którego przykładem jest rys. 6.3 drogą rozsuwania elementów następuje przejście do układu rozwiniętego, ale złożonego już z elementów o zdefiniowanych kształtach.

Rozsuniecie to ma swe źródło w uwzględnieniu odległości płaszczyzn głównych pominiętych w układach cienkich oraz wzięciu pod uwagę wpływu pryzmatów jako płytek płasko-równoległych na przemieszczenie obrazu. Obie poprawki poprzednio zostały oznaczone przez $\Sigma HH'$ i $\Sigma d(n-1)/n$. Powstaje wtedy schemat optyczny układu w rozwinięciu, analogiczny do przykładu podanego na rys. 6.2, z tym, że każdy z elementów ma ściśle określoną postać, wymiary oraz położenie. Końcowym rezultatem projektowania układu optycznego jest jego zestawienie zawierające informacje o wzajemnym położeniu w przestrzeni poszczególnych elementów, a więc odległościach, kątach między osiami, grubościach itp. Odpowiednikiem wspomnianego zestawienia jest rys. 6.1 uzupełniony wymiarami. Zestawienie optyczne i rysunki wykonawcze poszczególnych elementów są podstawą do realizowania konstrukcji mechanicznej.

Przedstawiony tu ogólny sposób postępowania przy konstrukcji układu optycznego zilustrowany dość prostym i typowym przykładem, wskazuje tylko na podstawowe zasady posługiwania się rachunkiem przy obliczeniach gabarytowych i nie wyczerpuje całości zagadnienia. Z uwagi na trudności przy sformułowaniu ogólnych warunków i toku postępowania adekwatnego do każdego przyrządu i każdej sytuacji, najczęściej w literaturze technicznej konstrukcję układów optycznych omawia się na przykładach przez rozwiązywanie konkretnych zagadnień. Szczegółowe rozważania na ten temat można znaleźć w [3], [4], [5].

6.2. Korekcja układów optycznych

Zadaniem korekcji aberracji układu optycznego jest nadanie odpowiedniego kształtu elementom optycznym, aby jego prawa przekształcenia przestrzeni przedmiotowej w obrazową z żądaną dokładnością zbliżały się do