

5.2.5. Lornety

Układ dwóch lunet przystosowanych do obserwacji dwuocnej nazywany jest *lornetą*. Układ taki w porównaniu z lunetą, poza tym, że zwiększa wygodę obserwacji, zachowuje, a nawet zwielokrotnia, możliwości oceny przestrzennego rozmieszczenia elementów w polu widzenia obserwatora.

Granicznemu kątowi Δw_g widzenia stereoskopowego obserwatora (p. 4.3) w przestrzeni przedmiotowej lornety odpowiada kąt $\Delta w_g/G$. Ponieważ środkami perspektywy obu lunet są środki źrenic wejściowych, to oznaczając ich odległość zwaną *bazą przyrządu* przez b_l , zgodnie z wyrażeniem (4.7), promień widzenia stereoskopowego przy obserwacji przez lunetę wynosi

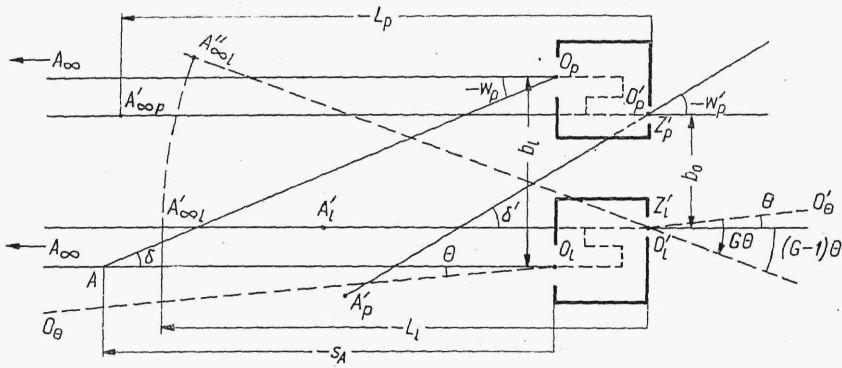
$$D_{gl} = \frac{b_l G}{\Delta w_g} \quad (5.26)$$

Wprowadzając pojęcie *współczynnika plastyczności lunety* P_l z definicji równego stosunkowi promieni widzenia stereoskopowego przy patrzeniu przez lornetę i bez przyrządu, to zgodnie z zależnościami (5.26) i (4.7)

$$P_l = \frac{D_{gl}}{D_g} = \frac{b_l G}{b_0} \quad (5.27)$$

Zwiększając odpowiednio bazę b_l przyrządu i jego powiększenie G można wielokrotnie zwiększyć promień widzenia stereoskopowego człowieka, co zostało wykorzystane do budowy przyrządów pozwalających na pomiar odległości (dalmierze stereoskopowe).

Przestrzeń przedmiotowa lornety jest przekształcana przez dwa układy niezależnie dla lewego i prawego oka, w związku z czym obie przestrzenie obrazowe lunety muszą być odpowiednio wzajemnie zorientowane oraz powinny mieć tę samą metrykę przekształcenia. Łączy się to z koniecznością spełnienia dodatkowych warunków wiążących parametry lunet oraz ustalających wzajemne ich położenie.



Rys. 5.20

Niech będzie dana lorneta z układami odwracającymi pryzmatycznymi schematycznie pokazana na rys. 5.20.

Ponieważ rozstawienie oczu zależnie od obserwatora może zmieniać w granicach 56—74 mm stąd w każdym przyrządzie binokularowym ist-

nieje potrzeba zapewnienia regulacji odległości źrenic wyjściowych w tym zakresie. Zmiana odległości realizowana często mechanicznie przez względne przemieszczenie obu układów, narzuca dosyć wysokie wymagania co do dokładności ich prowadzenia.

Niech A będzie punktem fiksacji obserwatora przy patrzeniu przez lunetę. Promienie główne AO_l i AO_p , w przestrzeni obrazowej obu lunet mogą przyjmować różne położenia zależnie od wzajemnego położenia okularów, układów odwracających i obiektywów. Niech dla prostoty lorneta będzie tak wyregulowana, że dla punktów leżących nieskończenie daleko promienie główne w jej przestrzeni obrazowej są do siebie równoległe. Założmy następnie, że obrazem punktu A_∞ będą punkty $A'_{\infty p}$ i $A'_{\infty l}$. Ich odległości L od źrenic wyjściowych przyrządu zależą od dioptryjnych ustawień okularów. Z kolei obrazami punktu A będą punkty A'_p i A'_l , przy czym zgodnie z rysunkiem $w'_p = Gw_p$ i $w'_l = Gw_l$ (dla prostoty na rys. 5.20 $w_l = 0$) i ponadto $\delta = w_l - w_p$ $\delta' = w'_l - w'_p$ stąd $\delta' = G\delta$. Ponieważ $\delta = b_l/s_A$, to ostatecznie

$$\delta' = G \frac{b_l}{s_A} \quad (5.28)$$

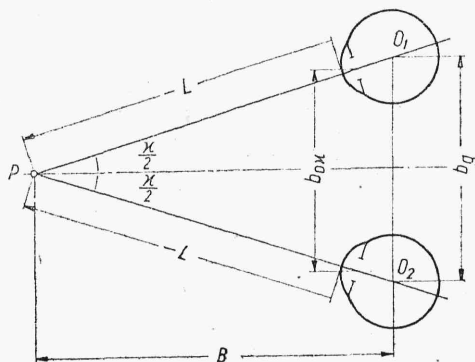
Wraz ze zbliżeniem się punktu A do przyrządu rośnie kąt δ' między promieniami głównymi w przestrzeni obrazowej, co zmusza obserwatora patrzącego na punkt A do wykonania zwrotu gałkami ocznymi. Ponieważ źrenica wejściowa oka odległa jest o 10 mm od środka obrotu gałki, wiąże się z tym zmniejszenie bazy źrenic wejściowych oczu o odległość

$$\Delta b = 10G \frac{b_l}{s_A}$$

Jeżeli $G = 10\times$, $b_l = 100$ mm, to Δb przyjmuje wartości znaczące dopiero dla odległości s_A rzędu 20 m.

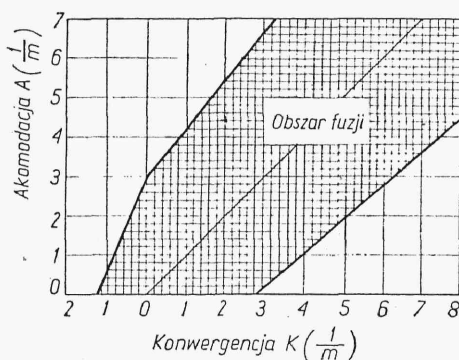
Niech na skutek wadliwego wykonania mechanizmu regulacji odległości źrenic wyjściowych przyrządu nastąpi obrócenie w płaszczyźnie poziomej jednej z lunet, np. lewej o kąt Θ , przy czym z uwagi na małą wartość kąta można pominąć przemieszczenie liniowe źrenic. Teraz promieniowi $O_\Theta O_l$ odpowiada w przestrzeni obrazowej promień $O'_l O'_\Theta$, natomiast obraz punktu P_∞ oznaczony tu przez $P'_{\infty l}$, z uwagi na kąt Θ między kierunkami $O'_\Theta O_l$ i $P_\infty O_l$, będzie leżał na promieniu odchylonym od kierunku $O'_l O'_\Theta$ o kąt $G\Theta$. Z rysunku wynika, że obrócenie lunety o kąt Θ powoduje odchylenie promienia głównego o kąt $(G - 1)\Theta$ i przemieszczenie obrazu P_∞ z punktu $P'_{\infty l}$ do $P''_{\infty l}$. Teraz przy obserwacji punktu P obserwator musi dokonać zwrotu lewej gałki ocznej o kąt $(G - 1)\Theta$. Kąt ten, zwłaszcza przy dużych powiększeniach G , może być już dość znaczny, a ponadto może przyjmować wartości ujemne i wtedy główne osie widzenia oczu musiałyby być rozbieżne. Zjawisko może zachodzić również w płaszczyźnie pionowej, dochodzi jeszcze wpływ kąta zbieżności ϱ' przy małych odległościach przedmiotu i wydaje się oczywiste, że nie do każdego położenia promieni głównych człowiek jest w stanie się przystosować. Istnieją fizjologiczne granice względnego usytuowania osi głównych widzenia, których przekroczenie powoduje zdwojenie obrazów. Konstrukcja przyrządu i jego montaż muszą w każdym przypadku zapewniać takie położenie promieni głównych, aby dla całego pola widzenia możliwa była fuzja obu obrazów.

Ustalenie dopuszczalnych zmian położenia osi lunet zależy od akomodacji obserwatora. Jeżeli punkt P (rys. 5.21) będzie jego punktem fiksacji przy obserwacji bez przyrządu, to między osiami głównymi widzenia tworzy się kąt zbieżności κ zależny od bazy b_g punktów obrotów obu gałek ocznych oraz odległości B punktu P od wspomnianej bazy. Ze zbieżnością



Rys. 5.21

osi wiąże się określona akomodacja czynna A , wynosząca dla osób o widzeniu normalnym, zgodnie ze wzorem (4.3) $A = -1/L$. Na drodze codziennego doświadczenia ustalony jest przez każdego obserwatora związek między jego akomodacją i konwergencją. Przy obserwacji przez przyrząd im większe będzie odstępstwo od wymienionej zależności, tym gorsze będą warunki obserwacji. Na rys. 5.22 podano za Krawkowem [4] obszar (za-



Rys. 5.22

kreskowany) dla którego występuje fuzja obrazów przy różnych wartościach akomodacji i konwergencji. Za miarę tej ostatniej przyjęto wielkość

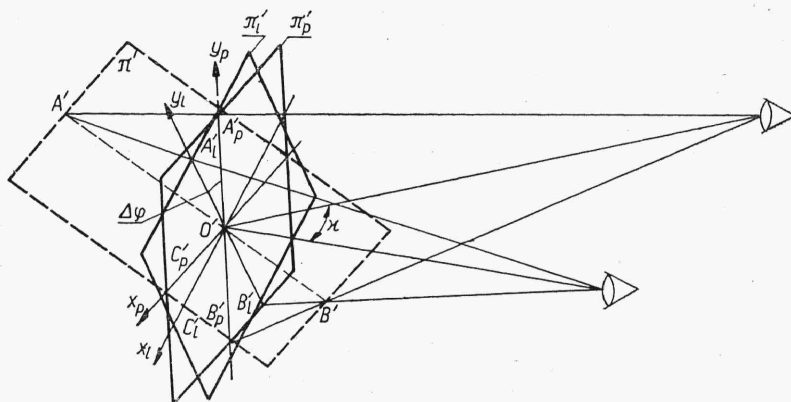
$$K = \frac{1}{B}$$

gdzie odległość B mierzona jest w metrach, natomiast konwergencja w metrkątach będących odpowiednikami dioptrii. Wykres może być podstawą

do tolerowania położenia osi przyrządu w płaszczyźnie poziomej, jednak fuzja obrazów dla granicy zakreskowanego obszaru połączona jest z pewnym wysiłkiem, co szczególnie przy dłuższych obserwacjach powoduje zmęczenie obserwatora. Dość kontrowersyjne jest zagadnienie wyznaczenia zakresu, w którym nie występują żadne trudności przy pracy z przyrządem optycznym, gdyż samo pojęcie zmęczenia wzroku jest bardzo nieprecyzyjne, a więc i tym bardziej jego pomiar. Najczęściej za dopuszczalną wartość przyjmowana jest $1/3$ maksymalnej odchyłki konwergencji od wartości teoretycznej dla danej akomodacji. Należy dodać, że obserwator widzący normalnie przy patrzeniu przez przyrząd rzadko tak dobiera dioptryjne ustawienie okularów, aby jego akomodacja czynna $A = 0$. Zwykle średnio pozostaje $A = 1$ 1/m, co oznacza, że obrazy dane przez przyrząd np. $P'_{\infty l}$ i $P'_{\infty p}$ znajdować się będą w przybliżeniu w odległości $L = -1$ m od źrenic wejściowych oczu, co odpowiada przy $b_g = 60$ mm kątowni zbieżności $\kappa = 3,5^\circ$. Wtedy lepsze warunki obserwacji występują przy lekko zbieżnych osiach głównych widzenia.

Dla nierównoległości promieni głównych w płaszczyźnie pionowej dopuszcza się zwykle kąt $15'$.

Ogólnie biorąc, jeżeli nawet spełniona jest równoległość promieni głównych przestrzeni obrazowej dla konkretnego punktu pola widzenia, nie musi być ona zachowana dla pozostałych. Wpływa na to różnica powiększeń oraz względne skrócenie obrazów obu lunet. Można ustalić tolerancje na wszystkie czynniki tak, aby maksymalny kąt między promieniami głównymi dla dowolnego punktu przedmiotu w płaszczyźnie pionowej i poziomej nie przekraczał założonej wartości. Dla przykładu rozważony zostanie wpływ kąta $\Delta\varphi$ względnego skrócenia obrazów danych przez obie lunety.



Rys. 5.23

Niech płaszczyzna π'_l (rys. 5.23) będzie obrazem płaszczyzny przedmiotu oglądanym lewym okiem, natomiast π'_p — prawym okiem, przy czym dla prostoty obie płaszczyzny znajdują się na tej samej odległości od oczu. Niech ponadto punkt O' obu płaszczyzn będzie obrazem tego samego punktu O przedmiotu. Oznacza to, że dla punktu O' osie główne widzenia przecinają się i spełniony jest warunek współzależności konwergencji i akomodacji. Dla punktu C' leżącego na osi poziomej zachowana jest ta sama

konwergencja co dla punktu O' , natomiast osi główne tworzą w płaszczyźnie pionowej pewien kąt ψ , przy czym

$$\psi = \Delta\varphi w'_C$$

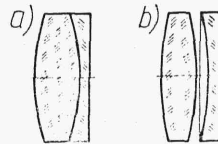
gdzie w'_C — kąt, pod którym widać punkty O' i C' .

Przy patrzeniu na punkt A lub B , jeżeli kąt skręcenia $\Delta\varphi$ jest mały, obserwator zgodnie z własnościami widzenia stereoskopowego, odnosi wrażenie przemieszczenia przestrzennego ich obrazów względem punktu O' . Następuje pozorne obrócenie płaszczyzny obrazu wokół osi poziomej. Dla większych kątów powstaje dwojenie obrazów.

W podobny sposób można udowodnić, że przy różnicy powiększeń obu lunet powstaje pozorne obrócenie płaszczyzny obrazu wokół osi pionowej oraz różnica kątów między promieniami głównymi w płaszczyźnie pionowej dla punktów A i B .

5.2.6. Typy obiektywów i okularów

Obiektywy lunet są układami mającymi małe kąty pola widzenia, w związku z czym wystarczy je zwykle korygować tylko na chromatyzm położenia, aberrację sferyczną i komę, czego konsekwencją jest ich względnie prosta budowa. Najczęściej spotykane rozwiązania pokazano na rys. 5.24. Dla typu (a) wystarczającą korekcję można osiągnąć przy otworach względnych 1 : 4, natomiast dla typu (b) — przy 1 : 3,5.



Rys. 5.24

Okulary lunet w porównaniu z obiektywami mają w przybliżeniu G razy większe obrazowe kąty pola widzenia. Ponadto pomijając wpływ układu odwracającego, dla lunet spełnione jest $|G| = \left| \frac{f'_1}{f'_2} \right|$ oraz $\frac{\Phi_z}{\Phi'_z} = G$,

gdzie Φ_z i Φ'_z — odpowiednio średnice źrenicy wejściowej i wyjściowej lunety, co oznacza, że obiektyw i okular mają ten sam otwór względny

$\left(\left| \frac{f'_2}{\Phi'_z} \right| = \left| \frac{f'_1}{\Phi_z} \right| \right)$. Ale ponieważ dla $|G| > 1$, ogniskowa okularu jest $|G|$

razy mniejsza od ogniskowej obiektywu, to wpływ okularu na aberracje związane z otworem układu, a więc na chromatyzm położenia, aberrację sferyczną i komę jest znacznie mniejszy niż wpływ obiektywu. Dlatego okular korygowany jest przede wszystkim na aberracje pozaosiowe (astygmatyzm, krzywizna pola, dystorsja i chromatyzm powiększenia), natomiast pozostałe aberracje mogą być skompensowane przy korekcji obiektywu lunety.

W zależności od przeznaczenia stosowane są różne typy okularów (rys. 5.25) różniące się między sobą stopniem skomplikowania budowy. Im układ jest bardziej złożony, tym są lepsze możliwości jego korekcji i tym samym mogą być osiągnane większe kąty pola widzenia. Wadą złożonych