

Przy ocenie stanu korekcji układu zaletą ustalania roli poszczególnych aberracji w tworzeniu się struktury plamki aberracyjnej, w porównaniu z wyznaczeniem samego kształtu plamki, jest znacznie mniejsza pracochłonność. Mniejsza jest liczba rozważanych promieni, a co istotniejsze poza astygmatyzmem rozpatrywane są tylko promienie leżące w płaszczyźnie południkowej. Praktycznie tylko ten sposób obliczeń jest możliwy przy prowadzeniu korekcji układów za pomocą kalkulacyjnych maszyn ręcznych lub elektrycznych.

Po wyznaczeniu aberracji zgodnie ze schematem 6.19 następuje wstępna ocena układu. Opiera się ona najczęściej na porównaniu wyników obliczeń z rezultatami uzyskanymi dla wcześniej projektowanych układów, lub na wyznaczaniu wpływu poszczególnych aberracji układu na wymiar plamki aberracyjnej. Dopuszczalna jej wartość będzie zależała od zastosowanego odbiornika i wymagań stawianych odwzorowaniu.

Jeżeli ocena korekcji jest negatywna, wówczas na podstawie wpływu poszczególnych parametrów na aberracje, wprowadzone są takie ich zmiany w układzie, które będą poprawiały ogólny stopień korekcji.

Najbardziej pożądaną jest wybór zmiany tych parametrów, które wpływają silnie na pojedyncze aberracje, szczególnie podlegające dalszej korekcji, natomiast wprowadzają niewielkie zmiany w pozostałych.

Na ogół jednak zmiana jednego z parametrów powoduje równoczesną zmianę kilku aberracji i nie dla wszystkich jednocześnie w pożądanym kierunku. Stąd istnieje konieczność wprowadzenia grupowych zmian parametrów dobieranych w ten sposób, aby wpływ ich nawzajem odpowiednio się kompensował. Problem rozwiązywany jest najczęściej przez interpolację lub ekstrapolację przy założeniu liniowej zależności między zmianami aberracji i parametrów.

Ponieważ funkcja opisująca zmiany aberracji jest nieliniowa, to po wprowadzeniu zmian proces obliczeniowy należy rozpoczynać od początku przez wyznaczenie aberracji i ich zmian dla nowego układu. Zabiegi iteracyjne kontynuowane są do momentu, gdy dalsze zmiany nie prowadzą do poprawy stanu korekcji układu. Otrzymane rozwiązanie nie musi spełniać stawianych mu na początku wymagań. Oznaczać to będzie, że z jednej strony dla wybieranego typu układu postawione zostały zbyt wygórowane żądania lub z drugiej strony, gdy istnieje możliwość porównań ze znanymi konstrukcjami, że niezbyt szczęśliwie wybrany został we wstępnych obliczeniach obszar rozwiązania.

Przy pozytywnej ocenie korygowanego układu przeprowadzana jest analityczna ocena jakości odwzorowania za pomocą metod bardziej dokładnych (p. 6.4). Dla układów o wyższych wymaganiach mogą one być podstawą do subtelnej optymalizacji korekcji. Przy typowych rozwiązaniach ze względnie niskimi wymaganiami można poprzestać na przybliżonej ocenie układów sprawdzając poprawność konstrukcji przy badaniu prototypu.

6.3. Zastosowanie cyfrowych maszyn elektronicznych w obliczeniach układów optycznych

Niezwykła pracochłonność procesu oraz typowość i powtarzalność pewnych operacji, są to wszystko elementy, które w szczególny sposób wiążą korekcję układów optycznych z cyfrowymi maszynami elektronicznymi.

Maszyny te stały się obecnie nieodłącznym narzędziem pracy konstruktora optyka. Tak jak swego czasu tablice logarytmiczne zostały wyparte przez maszyny kalkulacyjne, tak z kolei i one są zastępowane przez maszyny elektroniczne. Szybkość w działaniu i kompleksowe rozwiązywanie zagadnień są tu czynnikami decydującymi.

Przykładowo maszyna kalkulacyjna automatyzowała tylko same działania arytmetyczne, a więc dodawanie, czy dzielenie, natomiast cyfrowa maszyna elektroniczna automatyzuje całą grupę działań. Opracowując odpowiedni program obliczeń można, przez podanie danych konstrukcyjnych układu, dla założonych parametrów promieni w przestrzeni przedmiotowej automatycznie uzyskać parametry promieni w jego przestrzeni obrazowej. Można ponadto zażądać, aby wyniki obliczeń dla danego układu były podawane bezpośrednio w wartościach korygowanych aberracji. Idąc krok dalej i uwzględniając w programie możliwości automatycznego wprowadzenia określonych zmian poszczególnych parametrów konstrukcyjnych można bez udziału człowieka uzyskać jednocześnie wartości aberracji przeliczanego układu i ich przyrosty w zależności od zmian parametrów. W ten sposób zgodnie ze schematem obliczeń (rys. 6.19), na podstawie danych uzyskanych z maszyny elektronicznej wystarczy ocenić stan korekcji układu, wprowadzić odpowiednie jego zmiany i ponownie zażądać wyznaczenia charakterystyki nowego układu. Jest to przykład półautomatycznej metody korekcji, w której czynnie uczestniczy również konstruktor.

Dla uzyskania pełnej automatyzacji procesu korekcji, kiedy eliminowany jest udział człowieka, najważniejszym problemem jest ustalenie sposobu oceny układu. Niezbędne jest zdefiniowanie ilościowego wskaźnika, który w sposób syntetyczny charakteryzowałby układ pod różnymi względami. Nie wystarczy brać tu pod uwagę tylko samych aberracji. Układ powinien być realny w wykonaniu, a więc muszą istnieć ograniczenia jego długości i średnicy, dla poszczególnych soczewek powinny być zachowane pewne związki między grubością, promieniami krzywizn i średnicą itp. Wprowadzana jest wtedy najczęściej funkcja oceny jakości układu O_c , dla której z definicji

$$O_c = \sum_{i=1}^p w_i W_i + \sum_{i=1}^r a_i A_i$$

gdzie:

W_i — współczynnik rosnący, gdy brany pod uwagę parametr zmienia swoje wartości w niepożądanym kierunku,

A_i — współczynnik uwzględniający wpływ aberracji,

w_i i a_i — dobierane współczynniki wagowe.

Zwykle za A przyjmuje się kwadraty wartości aberracji wybranych dla ustalonych otworów i kątów polowych.

Ponieważ wszystkie współczynniki z założenia są dodatnie, to zadaniem maszyny przy korekcji jest minimalizowanie wartości funkcji oceny jakości. Wraz z wyznaczeniem aberracji i ich zmian obliczane są równocześnie wartości funkcji O_c . Zadaniem maszyny jest wprowadzenie takich zmian w układzie, które dla przyjętych wartości a i w będą zmniejszały wartości O_c . Przez stworzenie zamkniętego cyklu obliczeniowego (rys. 6.19) uzyskiwana jest automatyczna korekcja układu.

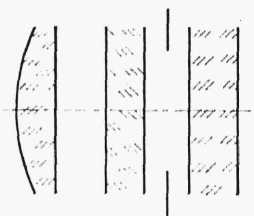
Przerwanie obliczeń może nastąpić w momencie, gdy zmiany funkcji O_c przy określonych zmianach parametrów są mniejsze od założonej war-

tości, co oznaczać będzie, że w pewnym obszarze parametrów układu uzyskano optymalny stan korekcji.

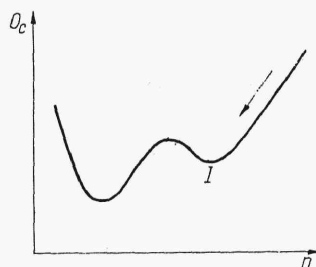
Rola człowieka przy automatycznej korekcji sprowadza się do ustalenia danych wyjściowych układu, doboru współczynników wagowych oraz skontrolowania ostatecznie otrzymanych wyników.

Dość trudne i kontrowersyjne, a zarazem w istotny sposób wpływające na kształt układu i jego korekcję, jest zagadnienie doboru współczynników a i w . Pomijając nawet sprawę wyważania między wpływem kształtu układu i jego aberracji, pozostaje jeszcze do rozstrzygnięcia, w jakim stopniu jakość obrazu na brzegu pola może być mniejsza od jakości na jego środku. Należy zdecydować się na kompromis między wpływem aberracji sferycznej, komy, astygmatyzmu itd. Dla zespołów typowych można współczynniki te ustalić na podstawie charakterystyk układów już obliczonych, natomiast dla układów nieznanymi z konieczności należy zdać się na metodę prób i na podstawie otrzymanych wyników dokonywać odpowiednich przesunięć w akcentowaniu znaczenia poszczególnych aberracji.

Zastosowanie automatycznej korekcji układów daje możliwość wyeliminowania wstępnych obliczeń korekcyjnych i przerzucenie całego procesu konstrukcji na maszynę elektroniczną. Przykładowo można postawić maszynie zadanie skonstruowania trypletu podając jako układ wyjściowy soczewkę płasko-wypukłą (rys. 6.27) z dwiema płytkami płasko-równoległymi zbudowanymi z przypadkowo wybranych szkieł. Moc soczewki, a więc i jej promień, są dobrane z przyjętej ogniskowej całego układu. Tak



Rys. 6.27



Rys. 6.28

jak poprzednio dla danych współczynników wagowych, korekcja będzie polegała na minimalizacji funkcji oceny drogą zmian parametrów układów (szkieł, odległości, elementów, grubości, promieni krzywizn). Dobór współczynników wagowych powinien zapewniać oprócz właściwego stanu korekcji utrzymanie w odpowiednim przedziale wartości ogniskowej, długości układu, odległości przedmiotu, położenia ogniska obrazowego, średnicy soczewek itp. Tak szeroko pojęta automatyzacja, aczkolwiek zwalnia konstruktora z wszelkich kłopotów związanych z liczeniem, to nawet przy poprawnie przyjętych współczynnikach wagowych jest bardzo czasochłonna. Z uwagi na dość złożony charakter funkcji O_c szukanie minimum może się odbywać tylko małymi krokami, a ponieważ dla przypadkowo złożonego układu będzie ona miała duże wartości, w związku z tym korekcja wymaga wielu cykli iteracyjnych. Poza tym funkcja ta może mieć kilka minimów (rys. 6.28) i np. osiągnięcie pierwszego drogą zmiany dowolnego parametru w kierunku wskazanym strzałką nie gwarantuje optymalnej korekcji. Można zażądać, aby drogą skokowych zmian parametrów został wyszukany obszar, w którym wartości funkcji O_c nie będą większe

od przyjętej wartości w założeniach, lecz to jeszcze bardziej wydłuża czas korekcji. Przez wstępne skorygowanie układu, np. dla aberracji III-ciego rzędu, konstruktor wyznacza przybliżony obszar rozwiązania i tym samym radykalnie przyspiesza proces korekcji.

Być może, że w miarę postępu w przystosowaniu programów obliczeń na cyfrowych maszynach elektronicznych do specyficznych i wielostronnych wymagań jakie stawia układ optyczny, wspomniane trudności zostaną pokonane i wtedy rola konstruktora będzie się ograniczała do ustalenia współczynników wagowych i analizowania jakości odwzorowania całkowicie zaprojektowanego przez maszynę układu.

6.4. Analiza jakości odwzorowania

Stosowane są różne metody oceny jakości odwzorowania zależnie od rodzaju przedmiotu, odbiornika i ściśle związanego z tym stopnia korekcji układu.

Jeżeli oceniany będzie np. układ optyczny teleskopu, wówczas z uwagi na przedmiot, najracjonalniej jest badać rozkład energii w obrazie punktu i graniczny kąt zdolności rozdzielczej dla obrazu dwóch punktów. W przypadku obiektu fotograficznego z uwagi na różnorodność przedmiotów bardziej uniwersalną charakterystykę daje optyczna funkcja przenoszenia. Należy tylko podkreślić, że ta ostatnia jest wyznaczona na podstawie obrazu punktu i obie charakterystyki zawierają te same informacje, podane tylko w innej postaci przystosowanej do rodzaju przedmiotu.

Ponadto z uwagi na znaczną pracochłonność analizy, dąży się do pewnych uproszczeń i związanego z tym zróżnicowania rozważań dla układów o małych i dużych aberracjach. W pierwszym przypadku rozpatrywane są odstępstwa od kształtu obrazu dla układu bezaberracyjnego (p. 3.3.3), w drugim rozważania prowadzone są na gruncie optyki geometrycznej.

6.4.1. Analiza obrazu punktu

Układy o małych aberracjach

Istotą pracy układów optycznych jest przekazanie maksymalnej ilości informacji o przedmiocie do odbiornika. Z uwagi jednak na zjawiska dyfrakcji te możliwości przekazywania są ograniczone. Obrazem punktu jest plamka dyfrakcyjna, której wymiar uniemożliwia dostrzeganie drobnej struktury przedmiotu (p. 3.3.5). Ponieważ na średnicę obszaru o znaczących wartościach intensywności w plamce dyfrakcyjnej oprócz średnicy przysłony aperturowej układu, mają również wpływ i aberracje, aby więc w maksymalnym stopniu wykorzystać możliwości przyrządu, zadaniem konstruktora jest tak skorygować układ, aby wpływ ten był pomijalnie mały. Ewentualne ograniczenia wprowadzane przez odbiornik w tym przypadku są eliminowane drogą doboru odpowiedniego powiększenia przyrządu.

Najwygodniej wtedy rozważania prowadzić drogą wyznaczenia zmian w plamce dyfrakcyjnej w porównaniu z plamką układu bez aberracji. Zagadnienie to zostało rozwiązane w p. 3.3.3 i rezultaty rozważań zostaną obecnie wykorzystane do opisu wpływu aberracji sferycznej na plamkę dyfrakcyjną oraz wyznaczenia prostych zależności dających praktyczne wskazówki przy korekcji układu.