

ПОДХОД К РАСЧЕТУ ЗНАЧЕНИЙ ДОПУСКОВ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ, УЧИТЫВАЮЩИЙ ВОЗМУЩЕНИЯ ЮСТИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ

Протас О.Ю., Юдин А.Н.

Федеральное космическое агентство РФ
ОАО «НПК «Системы прецизионного приборостроения»

В работе описана идея метода расчета допусков, позволяющего учитывать возмущения юстируемых параметров в процессе эксплуатации.

При создании оптических систем одним из основных этапов проектирования является расчет допусков и анализ чувствительности схемы к этим допускам. Подобный расчет предполагает переоптимизацию системы с учетом допусков на изготовление, как с целью оценки влияния возможных компенсирующих параметров, так и с целью перераспределения допусков между конструктивными элементами. Автоматизация процесса расчета допусков системы позволяет значительно сократить время проектирования, а также одновременно учитывать большее количество параметров, влияющих на характеристики оптической системы.

В настоящее время расчёт допусков оптической системы выполняется, как правило, двумя методами. Первый состоит в вычислении частных дифференциалов критерия качества системы по выбранным конструктивным параметрам с дальнейшими расчётами либо ухудшения качества изображения при определённом изменении варьируемого параметра, либо решением обратной задачи – вычисления интервала значений параметра, внутри которого ухудшение качества не превосходит некоторой заданной величины. Второй метод состоит в моделировании одновременного отклонения всех анализируемых конструктивных параметров от номинального значения путём анализа большого количества реализаций системы со случайно внесёнными отклонениями (метод Монте-Карло). Оба метода допускают введение юстировок в моделируемую систему – в этом случае, как при отклонении одного, так и нескольких параметров от номинального значения, система переоптимизируется по свободным параметрам, определяемым вводимыми юстировками. Основным недостатком этих методов является то, что при автоматизированной оптимизации юстируемый параметр принимает строго оптимальное значение, что не соответствует действительности. Во-первых, любая реальная юстировка выполняется с некоторой погрешностью, определяемой применяемыми средствами контроля. Во-вторых, юстируемый параметр в ходе эксплуатации системы может отклоняться от достигнутого оптимального значения. Последнее особенно важно, так как

совершенствование производственной контрольно-измерительной аппаратуры влияет в основном на стоимость изделия. А закладываемые конструктивные решения по юстировочным подвижкам и узлам оправ, допускающих юстировку с последующим закреплением, прямо влияют на массогабаритные характеристики системы. Более того, в ряде случаев эти решения накладывают дополнительные граничные условия на оптимизацию номинального конструктива изделия.

В работе предлагается модификация второго метода, свободная от означенных выше недостатков. Подход использует встроенные средства программирования САПР ZEMAX для создания скриптов (программ) и позволяет учитывать возмущения юстируемого параметра, возникающие после его оптимизации. Это делает возможным моделировать влияние таких явлений, как смещение юстировочных подвижек, упругость фиксирующих оптические элементы материалов и т.п. Скриптовые надстройки позволяют получать статистику качества с учётом вышеупомянутых факторов и прогнозировать выход годных изделий и/или живучесть системы с точностью и полнотой, недоступной встроенным решениям среды ZEMAX.

Описанный подход проиллюстрирован тремя примерами – различными классами объективов: линзовом с поперечной юстировкой линз с последующей фиксацией герметиком; зеркальном с наклоняемыми зеркалами; зеркально-линзовом, с применением как наклонов зеркал, так и поперечным смещением линз.

Ключевые преимущества предлагаемого подхода – высокая автоматизация процесса и производительность расчётов, сравнительно простая адаптируемость к различным классам оптических систем. Изучение специфического синтаксиса скриптов блока расчёта допусков САПР ZEMAX практически не представляет затруднений для любого пользователя системы, использующего в своей повседневной работе язык ZPL.

Предполагается, что доведение предложенного подхода до инженерной степени применимости и внедрение его в практику расчета оптических систем позволит значительно упростить и ускорить разработку широкого класса высококачественных оптических приборов с юстируемыми элементами. Благодаря возможности статистической оценки влияния разъюстировки, возникающей непосредственно в процессе работы изделия, станет возможным ещё на этапе конструирования, до изготовления опытных образцов и с минимальным привлечением экспертных оценок не только прогнозировать ожидаемое качество изображения, реализуемое в процессе эксплуатации системы, но и оптимизировать её массогабаритные и экономические характеристики.