

УДК 681.7.06.07

МЕТОДОЛОГИЯ ПОДБОРА ОПТИМАЛЬНОГО СПОСОБА КРЕПЛЕНИЯ ЛИНЗ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

А.К. Колпаков, Н.Д. Толстоба

Рассмотрен выбор оптимального способа крепления оптических деталей при автоматизированном конструировании. Этот процесс требует формализации и построения соответствующей математической модели, реализующей выбор решения. Предложена методика подбора оптимального крепления.

Ключевые слова: методология, выбор оптимального решения, способ крепления, автоматизация конструирования.

Введение

Одним из приоритетных научных направлений оптической отрасли является автоматизация конструирования отдельных узлов оптического прибора.

Как известно, тип оправы является определяющим для таких конструктивных параметров оптической детали, как размеры фасок и полный диаметр. Таким образом, выбор оправ можно рассматривать как процесс синтеза некоторых входных данных, их анализ и решение в виде выборки конечных данных. Данный процесс можно структурировать и подвергнуть алгоритмизации, особенно в контексте автоматизации конструирования.

Описание модели

К основным способам крепления линз и других круглых оптических деталей относятся крепление завальцовкой, крепление приклеиванием, крепление резьбовым кольцом. При необходимости, когда приходится учитывать особые условия и требования, связанные с габаритными размерами, назначением, условиями эксплуатации оптических деталей, могут использоваться вспомогательные способы крепления – проволочным кольцом, прижимными планками, накладным кольцом, специальными элементами или специальной конструкцией оправы [1]. Одной из первоочередных задач при конструировании данного узла оптического прибора является выбор способа крепления линз.

Применение математических методов при принятии решений предполагает построение подходящей математической модели, в формализованном виде представляющей проблемную ситуацию, т.е. ситуацию выбора решения. В многокритериальной задаче, которой является выбор типа крепления, сравнение решений по предпочтительности осуществляется не непосредственно, а при помощи заданных числовых функций, называемых критериями [2].

При реализации математической модели выбора оптимального конструктивного решения возможно применение методов принятия решения в условиях неопределенности по нижеперечисленным критериям [3].

Критерий максимина (критерий Вальда). По этому критерию лица, принимающие решения, выбирают стратегию, гарантирующую максимальное значение наихудшего выигрыша. Примером тому может служить выбор оправы, гарантированно удовлетворяющей всем требованиям к креплению линзы, но не всегда самой технологичной.

В соответствии с критерием Вальда в каждой строке матрицы решений фиксируются альтернативы с минимальным значением оценочной функции. Альтернативе A с максимальным значением из всех минимальных отдается приоритет.

Критерий максимакса. В соответствии с этим правилом выбирается альтернатива с наивысшим достижимым значением оцениваемого показателя. При этом лицо, принимающее решение, не учитывает риска от неблагоприятного изменения окружающей среды (оправа, отлично удовлетворяющая какому-либо требованию, может сводить на нет это преимущество вкупе с другим требованием).

В соответствии с критерием максимакса находится наивысшее достижимое значение показателя по формуле

$$A = a_j \max_j \max_i P_{ij},$$

т.е. выбирается наибольшее значение из максимального значения для каждой строки.

Критерий минимакса (критерий Севиджа). В отличие от критерия максимина, критерий минимакса ориентирован на минимизацию не столько потерь, сколько сожалений по поводу упущенной выгоды. Оценка по критерию Севиджа рассчитывается по формуле

$$\min \max \Pi = \min_i [\max_j (\max_i X_{ij} - X_{ij})]$$

и состоит из нескольких этапов.

1. Сначала определяются отклонения от лучшего результата каждой отдельной графы матрицы решений по формуле $\max_i X_{ij} - X_{ij}$, которые образуют матрицу сожалений (см. табл. 1), так как ее элементы – это недополученная выгода от неудачно принятых решений, допущенных из-за ошибочной оценки.
2. Для каждой строчки матрицы сожалений находится максимальное значение.
3. Выбирается решение, при котором максимальное сожаление будет меньше других.

Критерий Гурвица. Этот критерий связывает критерии максимакса и максимина через максимум минимальных значений альтернатив.

Оптимальная альтернатива по критерию Гурвица рассчитывается по формуле (3), где α – коэффициент оптимизма ($\alpha = 0..1$).

$$\alpha \cdot \min q_{ij} + (1 - \alpha) \cdot \max q_{ij}.$$

Можно отметить, что при $\alpha = 1$ альтернатива выбирается по критерию максимакса, при $\alpha = 0$ – по критерию максимина. Общепринятая практика для учета риска – принятие коэффициента оптимизма 0,3 [3]. Множитель $\min q_{ij}$ представляет собой оценку по критерию максимина, а $\max q_{ij}$ – по критерию максимакса. Наибольшее значение целевой величины и определяет необходимую альтернативу.

При принятии решения в условиях неопределенности критерий Гурвица учитывает риск принятия ошибочного решения, в отличие от критериев максимина и максимакса [4]. Этот момент немаловажен в оптическом приборостроении, так как может снизить стоимость принятия не самого оптимального типа крепления (выражающуюся, например, в цене, весе, габаритах и т.д.). Учитывая сказанное, за основу выбора типа оправы примем именно этот критерий при реализации алгоритма в программном комплексе. Далее рассматривается методика выбора конструкции крепления линзы, основанная на матрице оценочных функций и многокритериальном выборе.

Реализация математической модели

Настоящая работа рассматривает метод решения вопроса о многокритериальном выборе типа крепления. Для реализации модели была взята за основу многопараметрическая шкала для оценки из [5]. Для удобства построения математической модели используется шкала оценок от 0 до 9, где 0 соответствует тому, что тип крепления не удовлетворяет требуемому условию, 9 – максимально ему подходит. Верификация критериев и их полнота выходит за рамки настоящей работы и является тематикой отдельного рассмотрения. Следует подчеркнуть, что оценки в общей сводной таблице являются не константами, а изменяемыми параметрами, сама же таблица служит опорой для построения модели принятия решения. В практическом применении инженеры смогут вносить изменения в предлагаемый вариант оценок тех или иных критериев, добавлять и удалять критерии по своему усмотрению. Таким образом, предполагается создать масштабируемую модель, не завязанную на жестких значениях.

Для предварительной оценки работы и практической применимости математической модели принятия оптимального решения она была построена в пакете Microsoft Excel. Для сравнения результатов выбора были применены все вышеперечисленные критерии принятия решения. Данная модель была протестирована на множестве вариантов. В работе приводится пример для двух линз с различными характеристиками и требованиями к установке.

- Линза 1. Радиусы $R1 = 80$ мм, $R2 = -35$ мм; толщина $d = 5$ мм; диаметр $D = 20$ мм. Необходимые условия – допуск на центрирование 0,02 мм, автоматизация сборки, минимальность габаритов, разборная конструкция, компенсация термических деформаций.
- Линза 2. Радиусы $R1 = 500$ мм, $R2 = 350$ мм; толщина $d = 15$ мм; диаметр $D = 270$ мм. Необходимые условия – юстировка в процессе сборки, разборная конструкция, допуск на центрирование 0,06 мм.

Из общей многопараметрической шкалы производится выборка только тех критериев, которые сохраняются в исходной задаче: малый диаметр, точное позиционирование, автоматизация сборки, минимальность габаритов, разборная конструкция и компенсация термических деформаций для первой линзы, большой диаметр, юстировка в процессе сборки, разборная конструкция и невысокие требования к точности крепления для второй. Выборка значимых критериев с оценками сведена в подтаблицу «матрица решений» (табл. 1 и 2). Во второй части таблицы приведены оценочные функции по рассматриваемым способам принятия решения.

Оптимальные варианты крепления линз по каждому из критериев обозначены в таблицах знаками «*».

Матрица решений							Критерии			
Тип крепления	Условия						максимакса $\max(X_{ij})$	максимина $\min(X_{ij})$	Гурвица	
	Линза малого диаметра	Минимальность габаритов	Разборная конструкция	Компенсация термических деформаций	Автоматизация сборки узла крепления	Повышенная точность крепления			a	$G = a \cdot \min q_{ij} + (1 - \alpha) \max q_{ij}$
Завальцовкой	8	8	0	3	7	9	9	1	0,3	6,6
Приклеиванием	8	9	0	2	9	2	9	1	0,3	6,6
Резьбовым кольцом	3	5	9	9	5	5	9*	3*	0,3	7,2*
Проволочным кольцом	8	7	7	2	3	1	8	1	0,3	5,9
Пружинящими планками	1	4	6	7	2	4	7	1	0,3	5,2
Накладным кольцом	1	2	9	9	0	6	9	1	0,3	6,6
Матрица сожалений: $\max(\max X_{ij} - X_{ij})$							Критерий Сэвиджа			
Завальцовкой	1	1	9	6	2	0	9			
Приклеиванием	0	0	9	7	0	7	9			
Резьбовым кольцом	6	4	0	0	4	4	6*			
Проволочным кольцом	0	1	1	6	5	7	7			
Пружинящими планками	6	3	1	0	5	3	6*			
Накладным кольцом	8	7	0	0	9	3	9			

Таблица 1. Выбор оптимального решения, вариант 1

Матрица решений					Критерии			
Тип крепления	Условия				максимакса $\max(X_{ij})$	максимина $\min(X_{ij})$	Гурвица	
	Линза большого диаметра	Разборная конструкция	Пониженная точность крепления	Юстировка в процессе сборки			a	$G = a \cdot \min q_{ij} + (1 - \alpha) \max q_{ij}$
Завальцовкой	0	0	2	5	5	1	0,3	3,8
Приклеиванием	3	0	7	8	8	1	0,3	5,9
Резьбовым кольцом	7	9	4	0	9	1	0,3	6,6
Проволочным кольцом	0	7	9	3	9	1	0,3	6,6
Пружинящими планками	6	6	6	0	6	1	0,3	4,5
Накладным кольцом	9	9	4	5	9*	4*	0,3	7,5*
Матрица сожалений: $\max(\max X_{ij} - X_{ij})$					Критерий Сэвиджа			
Завальцовкой	5	5	3	0	5			
Приклеиванием	5	8	1	0	8			
Резьбовым кольцом	2	0	5	9	9			
Проволочным кольцом	9	2	0	6	9			
Пружинящими планками	0	0	0	6	6			
Накладным кольцом	0	0	5	4	5*			

Таблица 2. Выбор оптимального решения, вариант 2

Из представленных таблиц видно, что для первой линзы оптимальным по всем критериям является способ крепления резьбовым кольцом. Для второй линзы наилучшим вариантом является крепление накладным кольцом. Критерий Севиджа предлагает для первой линзы в качестве альтернативы крепление пружинящими планками, однако ввиду большей технологичности способа крепления резьбовым кольцом данная альтернатива является менее предпочтительной. Следует отметить, что в обоих примерах для критерия максимакса не учитываются некоторые способы креплений, которые также дают итоговое максимальное значение в силу того, что они не удовлетворяют исходным требованиям к установке деталей (оценочная функция по некоторым критериям равна нулю).

Заключение

Экспериментальная проверка построенных моделей показала, что они согласуются с общепринятой практикой выбора метода крепления в указанных условиях. Метод матрицы решений в ее автоматизированном варианте моделирует процесс конструирования, устраняя сложность принятия решения при увеличении числа требований к креплению.

Рассматриваемая в работе методология выбора оптимального способа крепления развивает идеи В.В. Кулагина в виде предложенной им таблицы принятия решения. Описанная методология разрабатывалась в контексте автоматизации, так как именно в нем она представляет наибольшую ценность. В рамках автоматизированного проектирования оптического прибора алгоритмизация данного этапа является необходимым звеном в цепочке (следующим звеном в которой идет автоматический выбор недостающих конструктивных данных детали), без которого невозможно будет создать целостный процесс. Таким образом, математическая модель выбора оптимального решения может успешно внедряться в различные САПР для автоматизированного конструирования узлов с разными способами крепления оптических элементов.

В дальнейшем планируется создание программы для системы автоматизированного конструирования КОМПАС, одной из функций которой будет являться рассмотренная в настоящей работе методика выбора оптимального крепления оптической детали.

Литература

1. Латыев С.М. Конструирование точных (оптических) приборов: Учебное пособие. – СПб: Политехника, 2007. – 579 с.
2. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1982. – 256 с.
3. Таха, Хемди А. Введение в исследование операций. – 7-е изд.: Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2005. – 912 с.
4. Соснин П.И. [личный сайт]: Теория игр и принятие решений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://old.ulstu.ru/people/SOSNIN/umk/Decisions_Support/metod/game.htm, свободный. Яз. рус. (дата обращения: 13.11.10).
5. Кулагин В.В. Основы конструирования оптических приборов: Учебное пособие для приборостроительных вузов. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1982. – 312 с.

Колпаков Андрей Константинович – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, group6300@gmail.com

Толстова Надежда Дмитриевна – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат технических наук, доцент, nadinet@aco.ifmo.ru