ЧАСТНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ КОЛЛЕДЖ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»

Лекция 3.5 «Проекционные системы, оптические схемы и характеристики»

1. Введение

Проекционные оптические системы — устройства, предназначенные для создания действительного изображения объекта на удалённом экране. Они широко применяются в:

- кинопроекторах;
- диапроекторах;
- мультимедийных проекторах;
- системах виртуальной реальности;
- промышленных установках для фотолитографии.

2. Основные типы проекционных систем

Диаскопические — проецируют изображение прозрачного оригинала (слайда, киноплёнки):

- классический кинопроектор;
- слайд-проектор.

Эпископические — проецируют изображение непрозрачного объекта:

- эпидиаскоп;
- документ-камера.

Цифровые проекционные системы:

- LCD-проекторы (с жидкокристаллическими панелями);
- DLP-проекторы (с цифровым микрозеркальным устройством);
- LCoS-проекторы.

3. Типовая оптическая схема диаскопической проекционной системы

Классическая схема включает следующие компоненты (в порядке следования света):

1. **Источник света** (лампа накаливания, ксеноновая лампа, светодиод) с телом накала.
2. **Конденсор** — система линз, собирающая и равномерно освещающая объект:
    - однолинзовый;
    - двухлинзовый (наиболее распространённый);
    - зеркальный или зеркально-линзовый.

3. **Проекционный объект** (слайд, киноплёнка) — располагается в фокальной плоскости конденсора.
4. **Проекционный объектив** — формирует изображение на экране:
    - простой объектив;
    - анастигмат (коррекция аберраций);
    - объектив с переменным фокусным расстоянием (зум-объектив).
5. **Экран** — поверхность для наблюдения изображения.

4. Оптические характеристики проекционных систем

Ключевые параметры:

- **Фокусное расстояние объектива** f', мм — определяет масштаб и расстояние до экрана.
- **Относительное отверстие** D/f' или 1:k — светосила системы, влияет на яркость изображения.
- **Угловое поле** 2ω, град — максимальный угол охвата объекта.
- **Разрешающая способность** N, лин/мм — способность передавать мелкие детали.
- **Коэффициент светопередачи** τ — учитывает потери на отражение и поглощение.
- **Равномерность освещённости** — отношение минимальной освещённости к максимальной по полю экрана.
- **Геометрические искажения**:
    - дисторсия;
    - кривизна поля изображения.
- **Хроматические аберрации** — цветовая окантовка деталей.

5. Расчётные соотношения

Масштаб проекции:

$$\beta = \frac{f'}{d - f'}$$

где:

- β — линейное увеличение;
- d — расстояние от объектива до экрана.

Размер изображения на экране:

$$y' = \beta \cdot y$$

где y — размер объекта.

Яркость изображения:

$$B = \frac{B_s \cdot \tau \cdot \left(D/f'\right)^2}{4}$$

где B_s — яркость источника света.

Минимальное фокусное расстояние для заданного размера экрана:

$$f'_{\min} \approx \frac{L \cdot y}{2y + L \cdot \tan\omega}$$

где L — расстояние до экрана.

6. Осветительные системы проекторов

Требования к освещению:

- высокая равномерность;
- максимальная эффективность использования светового потока;
- минимизация нагрева объекта.

Типы осветителей:

- с конденсором и отражателем (параболическим или эллиптическим);
- с интегрирующей сферой;
- с линзовым растром (для равномерности);
- гибридные системы (комбинация зеркал и линз).

7. Особенности цифровых проекционных систем

LCD-проекторы:

- три ЖК-матрицы (R, G, B);
- высокий уровень цветопередачи;
- возможны «сетчатые» артефакты из-за структуры пикселей.

DLP-проекторы:

- микрозеркальный чип DMD;
- высокая контрастность;
- эффект «радуги» при быстром движении взгляда.

LCoS:

- отражательные ЖК-панели;
- высокое разрешение;
- хорошая глубина чёрного.

8. Аберрационная коррекция в проекционных объективах

Для высококачественного изображения требуется коррекция:

- сферической аберрации;
- комы;
- астигматизма;
- кривизны поля;
- дисторсии;
- хроматической аберрации увеличения.

Используют:

- асферические поверхности;
- комбинации линз из стёкол с разной дисперсией;
- дифракционные элементы.

9. Современные тенденции

- переход на светодиодные и лазерные источники света;
- ультракороткофокусные объективы (проекция с расстояния 20–50 см);
- интеграция с системами дополненной реальности;
- повышение разрешения (4K, 8K);
- автоматизированная юстировка и коррекция искажений.

Заключение

Проектирование проекционных систем требует комплексного подхода: согласования осветительной и проекционной частей, коррекции аберраций, оптимизации светосилы и разрешения. Современные технологии позволяют создавать компактные, энергоэффективные и высокоточные проекторы для различных задач — от домашнего кинотеатра до промышленного применения.