

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ**  
**СІКОРСЬКОГО"**

Факультет електроніки  
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра акустичних та мультимедійних електронних систем  
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

 С. А. Найда

« 10 » червня 2022 р.

**Дипломна робота**

**на здобуття ступеня бакалавра**

зі спеціальності (спеціалізації) 171 Електроніка

на тему: “Дослідження ефективності електронних систем технологій світлових шоу”

Виконав: студент IV курсу, групи ДВ-81

Сіренко Олексій Володимирович

Керівник доц. каф. АМЕС, к.т.н., доц. Швайченко В.Б.

Консультант

Рецензент доц. каф. ЕПС, к.т.н., доц. Цибульський Л.Ю.

Засвідчую, що в цій дипломній роботі  
немає запозичень із праць інших авторів  
без відповідних посилань.

Студент Сіренко О.В.

Київ — 2022

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

**Факультет Електроніки**

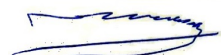
**Кафедра акустичних та мультимедійних електронних систем**

**Рівень вищої освіти — перший (бакалаврський)**

**Спеціальність 171 Електроніка**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри**

 **— Сергій Найда**

**« 02 » 05 2022 р.**

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломну роботу студенту**

**Сіренку Олексію Володимировичу**

1. Тема роботи: “Дослідження ефективності електронних систем технологій світлових шоу”

керівник роботи: Швайченко В. Б. доц., к.т.н., доц.

затверджені наказом по університету від «06» червня 2022 р. № 911-С.

2. Термін подання студентом роботи: «14» червня 2022 р.

3. Вихідні дані до роботи: програмне забезпечення та електронне обладнання для світлових шоу, масові заходи світлових шоу.

4. Зміст роботи: аналіз різних типів проекторів за параметрами ефективності, сучасного програмного забезпечення, що застосовують для проведення світлових шоу, обладнання масових заходів світлових шоу.

5. Перелік ілюстративного матеріалу: набір слайдів презентації з дослідженням ефективності параметрів обладнання масових заходів світлових шоу.

## 6. Консультанти розділів роботи:

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|--------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|        |                                           | завдання видав | завдання прийняв |
|        |                                           |                |                  |

## 7. Дата видачі завдання: «08» лютого 2022 р.

## Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання дипломної роботи                                      | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------|
| 1     | Написання першого розділу                                                    | 22.04.2022-02.05.2022          | виконано |
| 2     | Написання другого розділу                                                    | 02.05.2022-29.05.2022          | виконано |
| 3     | Написання третього розділу                                                   | 29.05.2022-01.06.2022          | виконано |
| 4.    | Написання четвертого розділу                                                 | 01.6.2022-07.06.2022           | виконано |
| 4     | Оформлення розділів. Оформлення висновків та переліку посилань на літературу | 07.06.2022-09.06.2022          | виконано |
| 5     | Підготовка та оформлення презентації для доповіді                            | 09.06.2022-14.06.2022          | виконано |

Студент

Керівник роботи


Сіренко О.В.

Швайченко В.Б.

УДК 623.618.3

## РЕФЕРАТ

Сіренко О.В. Дослідження ефективності електронних систем технологій світлових шоу : дипломна робота бакалавра : 171 Електроніка / Сіренко Олексій Володимирович. – Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 58 с.

Дипломна робота: 58 с., 9 таб., 20 рис., 23 джерела.

**Мета роботи:** аналіз обладнання масових заходів світлових шоу за параметрами ефективності.

**Об’єкт дослідження:** процеси в обладнанні світлових шоу та програмне забезпечення.

**Предмет дослідження:** особливості параметрів ефективності обладнання масових заходів світлових шоу.

**Актуальність** теми бакалаврської роботи полягає у дослідженні ефективності електронних систем технологій світлових шоу за параметрами, серед яких енергоспоживання, що суттєво впливає на проблеми екології.

**Методи дослідження.** В даній роботі використовувався метод порівняльного аналізу результатів відомих досліджень.

**Наукова новизна** полягає у визначенні особливостей технології обладнання світлових шоу, аналіз обладнання масових заходів світлових шоу.

**Практичне значення одержаних результатів:** проведений аналіз дозволяє обрати більш ефективне та екологічне обладнання для організації масових заходів світлових шоу .

**Ключові слова:** аналіз параметрів ефективності, мультимедійний проектор, програмне забезпечення, світлові шоу.

## ABSTRACT

Sirenko, O. V. Research of efficiency of electronic systems of technologies of light shows : bachelor's thesis : 171 Electronics / Sirenko Oleksii. – Kyiv, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2022. – 58 p.

The volume of the bachelor's thesis is 58 pages, 9 tables, 20 figures and 23 referens.

**Purpose:** analysis of equipment for mass events of light shows on the parameters of efficiency.

**Object of research:** hardware and software.

**Subject of research:** features of parameters of efficiency of the equipment of mass actions of light shows.

**The relevance** of the topic of the bachelor's thesis is to study the effectiveness of electronic systems of light show technology in terms of parameters, among which energy consumption significantly affects environmental problems.

Research methods. This paper used the method of comparative analysis of the results of known studies.

**Scientific novelty** consists in definition of features of technology of the equipment of light shows, the analysis of the equipment of mass actions of light shows.

**Practical significance of the obtained results:** the conducted analysis allows to choose more efficient and ecological equipment for the organization of mass events of light shows.

**Keywords:** analysis of efficiency parameters, light shows, multimedia projector, software,.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| РЕФЕРАТ .....                                                                                                                                 | 4  |
| ЗМІСТ .....                                                                                                                                   | 6  |
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ .....                                                                                         | 8  |
| ВСТУП.....                                                                                                                                    | 9  |
| 1 ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ТА ЇХ ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ В<br>МАСОВИХ ЗАХОДАХ З ЕФЕКТАМИ СВІТЛОВОГО ШОУ .....                                 | 10 |
| 1.1 Визначення можливостей медіапроекторів .....                                                                                              | 10 |
| 1.2 Види допоміжного електронного обладнання для світлових шоу .....                                                                          | 16 |
| 1.2.1 Стробоскопи.....                                                                                                                        | 16 |
| 1.2.2 Прожектори.....                                                                                                                         | 45 |
| 1.2.3 Колорчейнджери.....                                                                                                                     | 19 |
| 1.2.4 Диско-голови.....                                                                                                                       | 20 |
| 1.2.5 Управління світловим обладнанням .....                                                                                                  | 21 |
| 1.3 Особливості сучасного програмного забезпечення, що застосовують для<br>проведення світлових шоу .....                                     | 22 |
| 1.4 Висновки за 1 розділом .....                                                                                                              | 28 |
| 2 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СУЧАСНИХ ПРОЕКТОРІВ ЗА ОСНОВНИМИ<br>ПАРАМЕТРАМИ .....                                                                   | 29 |
| 2.1 Визначення ефективності лампових проекторів для типової відстані в<br>приміщенні за показниками яскравості та споживаної потужності ..... | 29 |
| 2.2 Визначення ефективності світлодіодних проекторів за основними<br>параметрами .....                                                        | 45 |
| 2.3 Визначення ефективності лазерних проекторів за основними параметрами.....                                                                 | 37 |

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.4 Аналіз 3 типів проєкторів різних виробників одного цінового сегменту за параметрами ефективності ..... | 45 |
| 2.5 Висновки за 2 розділом .....                                                                           | 45 |
| 3 ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МАСОВИХ ЗАХОДІВ З ЕФЕКТАМИ СВІТЛОВОГО ШОУ .....                                      | 43 |
| 3.1 “Легенда про Пангу” .....                                                                              | 43 |
| 3.2 “ La Clé des Songes” .....                                                                             | 45 |
| 3.3 Перший фестиваль світла, Сан-Франциско. ....                                                           | 47 |
| 3.4 Bassins de Lumières .....                                                                              | 49 |
| 3.5 Висновки за 3 розділом .....                                                                           | 51 |
| 4 ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СВІТЛОВИХ ШОУ .....                                                     | 52 |
| 4.1 Визначення енергоспоживання проєкторами .....                                                          | 52 |
| 4.2 Визначення енергоспоживання серверами .....                                                            | 52 |
| 4.3 Сумарне енергоспоживання при проведенні заходів. ....                                                  | 53 |
| 4.4 Висновок за в розділом .....                                                                           | 54 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....                                                                                     | 55 |
| ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....                                                                             | 56 |

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

CRI – Color rendering index

DLP – Digital Light Processing

HD – High Definition

LCD – Liquid crystal display

LED – Light Emitting Diode

Lm – Lumens

PC –

D-ILA

VGA/SVGA/XGA/WXGA/WXGA+/SXGA/WSXGA

HDMI

HDCP

LAN

ANSI Lm

Гобо

## ВСТУП

Світлове шоу у своєму роді є універсальним варіантом шоу-програми тому, що може бути проведено де завгодно. Цілком не важливо, якими будуть розміри залу, освітлення, покриття, тощо. За належного рівня технічного забезпечення організувати повноцінне світлове шоу можна навіть на вулиці.

Постійно з'являється нове світлове обладнання, за допомогою якого сьогодні легко можна реалізувати будь-які технологічні ідеї. Тому світлові шоу такі популярні і практично повсюдні на урочистих подіях та святах.

Ускладнення характеристик нового сучасного обладнання та його функціоналу зробили таке обладнання легшим у використанні. Установка сучасного обладнання займає незначний час, а самі конструкції – не лише мобільні, а й легкі за вагою.

В дипломній роботі буде досліджено ефективність електронних систем технологій світлових шоу. Буде розглянуто обладнання та програмне забезпечення яке використовувалось на популярних масових заходах світлових шоу, визначено ефективність обладнання, порівняно ефективність світлових шоу.

## **1 ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ТА ЇХ ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ В МАСОВИХ ЗАХОДАХ З ЕФЕКТАМИ СВІТЛОВОГО ШОУ**

### **1.1 Визначення можливостей медіапроекторів**

Функції сучасного мультимедійного проектора можна розділити на дві групи: основні та додаткові. Найчастіше до стандартного набору входить:

- Інверсія зображення – як по горизонталі, так і по вертикалі. Тобто людина має можливість вибрати зручний варіант, виходячи з особливостей приміщення.
- Налаштування зображення. Клієнт може налаштувати яскравість, контрастність та інші важливі параметри.
- Коригування трапецеїдальних спотворень. Причому деякі проектори дозволяють здійснювати цю процедуру в ручному режимі, хоча легше, звичайно, скористатися автоматичною функцією.
- Дистанційне керування курсором комп'ютера. При підключенні ПК до проектора з'являється можливість використовувати так звану інфрачервону мишу.

Крім того, проектори, що продаються сьогодні, мають низку додаткових функцій, які помітно покращать враження від перегляду улюбленого фільму. Звичайно, пристрої, оснащені додатковим функціоналом, коштують дорожче, але такі витрати виправдані. Ось список додаткових можливостей:

- Наявність стоп-кадру. Користувач може будь-якої миті зупинити (або «заморозити») зображення.
- Наявність електронної лупи. З її допомогою можна значно збільшити картинку. Деякі моделі дозволяють збільшити зображення у 30 разів.

- Можливість одночасно переглядати одразу дві картинки. Наприклад, якщо підключено відразу два незалежні джерела.
- Спеціальний слот, куди вставляється картка PC [1].



Рисунок 1. 1 – Кінотеатральний проектор D-ILA ~~проектор~~ 8K JVC DLA-NX9 Black [2]

#### Характеристики:

- Технологія E-Shift:
- Лінзи (об'єктив): Склона лінза діаметром 100 мм
- Зміна масштабу: моторизований 2-кратний зум та фокусування (1,4 - 2,8)
- Термін служби лампи: 4500 годин у режимі зниженого енергоспоживання
- Яскравість: 2200 лм
- Контрастність: Натуральна: 100 000:1, Динамічна: 1 000 000:1
- Формат відеосигналу: Цифровий: 480p, 576p, 720p 60/50, 1080i 60/50, 1080p 60/50/24, 3840 x 2160p 60/50/30/25/24, 0/5 24
- Підтримувані відеографічні стандарти вхідного сигналу з ПК (HDMI): VGA/SVGA/XGA/WXGA/WXGA+/SXGA/WSXGA+

- Вхідний роз'єм HDMI: 2 (з підтримкою 3D/Deep Colour/HDCP 2.2)
- Вихідні рознімання на задній панелі. 3D-синхронізація: 1 (міні-DIN, 3-контактний)
- Роз'єм управління. Тригерний: 1 (міні-джек, 12 В/100 мА постійного струму)
- RS232C: 1 (D-sub, 9-контактний)
- LAN 1: (RJ-45)
- Пристрій формування зображення: Нова рідкокристалічна 0.69-дюйма 4K матриця LCOS (4096 x 2160) x 3 (RGB)
- Роздільна здатність: 8192 x 4320 (8K e-Shift)
- Функція зсуву об'єктива: +/-100% вертикальний & +/-43% горизонтальний, моторизований, із співвідношенням сторін 16:9
- Лампа (джерело світла): Ртутна газорозрядна лампа високого тиску 265 Вт
- Порт для прошивки: 1 (USB Type A) (для оновлення програмного забезпечення)
- 3D формат:
- Кадрування: 720p 60/50, 1080p 24
- Горизонтальна стереопара: 720p 60/50, 1080p 60/50/24, 1080i 60/50
- Вертикальна стереопара: 720p 60/50, 1080p/24
- Вимоги до напруги: змінний 100 В – 240 В, 50/60 Гц
- Потужність: 400 Вт
- Потужність в режимі очікування:
  - звичайний режим: 1.5 Вт
  - еко-режим: 0.3 Вт

- Розміри: 500 x 234 x 518 мм
- Вага: 21.8 кг



Рисунок 1. 2 – Короткофокусний проектор Optoma X316ST [3]

#### Характеристики:

- технологія дисплея: Чип 0.55” XGA DC3 DMD DLP® Technology від Texas Instruments;
- роздільна здатність матриці: XGA (1024 x 768);
- яскравість (в режимі Bright): 3400 ANSI лм;
- контрастність: 20000:1;
- Lamp Life2 Eco+/Dynamic/Eco/Bright/Education cycle 7000/6500/6000/4000/8000 (hrs);
- проекційне відношення 30.617:1;
- зум 1.1x ручний;
- роз'єми: HDMI (1.4a 3D), 2 x VGA (YPbPr/RGB), S-Video, композит, 2 x аудіовхід 3.5 мм, Mic in, аудіовихід 3.5 мм, VGA вихід, RS232, USB миша/сервіс, RJ45;

- аудіо (Вт): 10;
- корекція трапецеїдальних спотворень:  $\pm 40^\circ$  вертикальна;
- вага (кг): 2.76;
- розміри: 315 x 224 x 102;
- формат 4:3, сумісний з 16:9;
- зсув об'єктива: 115%;
- розмір екрану: 1.51 – 2.69 м (59.8” – 106.1”) діагональ 4:3;
- проекційна відстань: 0.75 – 1.33 м;
- об'єктив: F/2.7; f=7.15 мм, ручний зум;
- рівномірність світлового потоку: 80%;
- сумісність із комп'ютером: UXGA, SXGA, XGA, SVGA, VGA, Mac;
- сумісність із відео: PAL (B, D, G, H, I, M, N, 4.43 МГц), NTSC (M, J, 3.58 МГц, 4.443 МГц), SECAM (B, D, G, K, K1, L, 4.25, МГц, 4.4 МГц, 480i/p, 576i/p, 720p(50/60 Гц), 1080i(50/60 Гц) 1080p(24/50/60 Гц);
- підтримка 3D:Робота у форматі 3D можлива за наявності 3D-сумісного контенту: стандартні програми, включаючи освітні 3D-модулі, спеціалізовані програми для дизайну та моделювання та ін. Підтримка 3D ТВ, Blu-ray 3D™, ігрові консолі 3D Sony® PS3 та Microsoft® Xbox 360 згідно стандарту HDMI v1.4a;
- 3D сумісність: Side-by-Side: 1080i50/60, 720p50/60;
- Frame-pack: 1080p24, 720p50/60;
- Over-Under: 1080p24, 720p50/60;
- горизонтальна розгортка: 15.3 – 91.1 кГц;
- вертикальна розгортка: 24 – 85 Гц;

- якість кольору: 1073.4 млн;
- рівень шуму (в режимі ECO): 29 дБ;
- харчування: 100-240 В, 50-60 Гц;
- Потужність: Режим Bright 249 Вт / Режим Eco 194 Вт (< 0.5W Standby);
- умови експлуатації: 5 ° С - 40 ° С, макс. вологість 85%, макс. висота над рівнем моря 3000 м-код;



Рисунок 1. 3 – Мультимедійний проектор Hitachi CP-X5550 [4]

#### Характеристики:

- основне призначення: Універсальний;
- технологія (матриця): LCD/3x0.63";
- потужність лампи: 300 Вт;
- модель лампи: DT01931;
- яскравість 5800 лм;
- контрастність 10000:1;
- реальна роздільна здатність: 1024x768 пікс. / XGA;
- формати зображення: 4:3, 16:9;

- проекційна відстань, макс.: 14 м;
- діагональ зображення: 0.8 – 7.6 м;
- масштабування та фокусування: ручна;
- коефіцієнт збільшення: 1.6х;
- зміщення об'єктива;
- корекція трапеції  $\pm 30^\circ$  по горизонталі та вертикалі;
- зворотна проекція;
- у динаміків: 1 шт
- потужність звуку: 1 Вт;
- відео роз'єми: VGA/1 вхід, 1 вихід/композитний;
- HDMI входів: 2 шт;
- аудіо рознімання: вхід 3.5 мм (mini-Jack) / вихід 3.5 мм (mini-Jack)
- порти управління: COM-порт (RS-232)/LAN (RJ45);
- рівень шуму: 38 дБ/29 дБ в економічному режимі;
- підтримка MHL;
- пульт ДК у комплекті;
- габарити: 138x460x334 мм;
- вага: 6.9 кг;

## 1.2 Види допоміжного електронного обладнання для світлових шоу

### 1.2.1 Стробоскопи

Здатність цього приладу транслюється у уривчастих рухах. Цей ефект досягається завдяки швидкому миготінню світлового променя у самому прожекторі. Майже не один нічний заклад не обходиться без стробоскопа.

У сучасних стробоскопах вбудовані:

- газорозрядні лампи;
- імпульсні лампи;
- імпульсні лазери;
- в даний час з'явилися яскраві та дуже яскраві діодні лампи, які також успішно застосовуються у стробоскопах.

Світлотехнічний прилад, здатний відтворювати яскраві імпульси, що швидко змінюються. Вони, як і будь-які прилади мають різні технічні характеристики і відрізняються за потужністю ламп, частота спалахів теж може бути різною [5].



Рисунок 1.4 – City Light FW-003 LED Segment STROBE 600W DMX

### 1.2.2 Прожектори

Прожектори бувають кількох видів:

- Прожектори далекої дії, які здійснюють подачу світлового потоку як конуса.

Широко використовуються військовими.

- Сигнальні прожектори для передачі інформації.

Окремі фрагменти висвітлюються з допомогою акцентних прожекторів.

- Світлодіодний прожектор відрізняється надійністю та ергономічністю. Він довговічний, не вимагає високого енергоспоживання, його можна використовувати, перенаправляючи світло під потрібним кутом. Світлодіодні прожектори набули своєї популярності завдяки високому енергозбереженню - до 80 відсотків електроенергії! Крім того, вони забезпечують хорошу контрастність, і таке освітлення легко сприймається людським оком. Перевагою є те, що вони мають вбудований блок живлення, живлення здійснюється від 220 Вольт без будь-яких допоміжних блоків. Також вони зручні в монтажі з погляду його швидкості, дозволяють міняти кут нахилу в потрібному напрямку.

- Діодний прожектор широко використовується у відео та фотозйомках як допоміжне джерело світла. Має високу колірну температуру та імітує денне світло. Залежно від конструкції може бути використаний як при студійній зйомці, так і при зйомках на вулиці. Легкі переносні діодні прожектори можуть підживлюватися від акумулятора, у тому числі автомобільного. Більш громіздкі студійні діодні прожектори вимагають стаціонарного живлення мережі. Ціна діодного прожектора перевищує ціну звичайних прожекторів, але ці витрати виявляються виправданими через ряд переваг даного прожектора [6].



Рисунок 1.5 – Прожектор SAGITTER SGHTZLEDC

### 1.2.3 Колорчейнджери

Колорченджери - це світлові пристрої, призначені для створення світлових ефектів та архітектурного підсвічування фасадів будівель з можливістю зміни кольорів. Колорченджери, залежно від конкретних моделей, можуть мати різні конструкції, функціональні особливості та призначення.

Нерідко їх використовують як архітектурне підсвічування та створення нічних ілюмінацій. Також колорченджери застосовуються при оформленні відкритих концертних залів, нічних клубів та різноманітних приміщень. Як правило, колорченджери мають міцний і стійкий корпус, оснащений лампами різної потужності. У сучасних світильниках для архітектурного підсвічування як джерела світлових променів використовуються елементи, створені на основі інноваційних газорозрядних технологій. Зміна кольорів відбувається за допомогою спеціальних фільтрів, якими обладнана конструкція. Більшість моделей оснащені різними акустичними елементами, що реагують на зміни звучання та дозволяють створювати неповторний звуковий супровід [7].



Рисунок 1.6 – Колорченджер POWER light S-502

#### 1.2.4 Диско-голови

Голови - це динамічні світлові пристрої нового покоління, що обертаються, з можливістю програмного управління за допомогою стандарту DMX-512, а також обертанням на 360 градусів, які відносяться до типу інтелектуального світлового обладнання. Завдяки своєму обертанню, голови створюють приголомшливу динаміку, а за допомогою вбудованих дисків зі змінними фільтрами, роблять світлові потоки різноманітнішими.

Голови працюють за допомогою стандарту DMX-512, що дозволяє віддалено управляти пристроєм різними інтерфейсами та контролерами. Основна особливість стандарту DMX-512 полягає в тому, що можна керувати відразу декільком світловим обладнанням голова, завдяки чому можна створювати складні та унікальні світлові твори.

На сьогоднішній день світлові голови можуть мати певні кількості світлових ефектів та кольорів. Саме швидкість променя (?) голів і можливість їх швидкого

переміщення по танцполі або сцені створює неповторний візуальний ефект, через що голови є вкрай затребуваними при проведенні різних розважальних заходів.

При виборі голів необхідно враховувати якість оптики, набори гобо та кількість кольорів. Технічно складніші обертові голови можуть включати в себе набори кольорових барабанів, гобо і призми, що обертаються. Завдяки таким головам можна створювати максимально складні ефекти та суттєво розширювати межі їх використання[8].



Рисунок 1.7 – Диско-голова CHAUVET Intimidator Hybrid 140SR

### **1.2.5 Управління світловим обладнанням**

Для того, щоб можна було забезпечити сумісність різних пристроїв для керування, фахівці розробили протокол DMX512, який є стандартом цифрової передачі різних даних між світловою апаратурою і пультами управління таким обладнанням. Так як пульти DMX для управління світловим обладнанням мають різну функціональність, то на основі цього можна умовно поділити їх на:

- клубні;

- дискотечні;
- концертні.

Апаратні пульти також можна розділити на три види: управління інтелектуальним світлом (голови, сканери), управління прожекторами та універсальні, здатні керувати як інтелектуальними приладами, так і прожекторами[9].



Рисунок 1.8 – **Світлової** пульт ChamSys QuickQ 10

### 1.3 Особливості сучасного програмного забезпечення, що застосовують для проведення світлових шоу

Сучасне програмне забезпечення надає всі необхідні інструменти для створення як живих, так і попередньо запрограмованих світлових шоу.

Програмне забезпечення має сумісність із MIDI, DMX для запуску з консолі та панель керування в режимі реального часу, що дозволяє запускати світлове шоу у режимі реального часу.

Для попередньо запрограмованого світлового шоу використовують набір інструментів програмування на основі тимчасової (?) шкали. Також можливе

встановлення власних аудіофайлів для ідеальної синхронізації обладнання та музики.

Можна створювати лазерні променеві ефекти, текст, графіку та лазерні логотипи з легкістю, без складного програмування.

У програмне забезпечення може бути вбудована програма малювання та редагування, що дозволяє малювати будь-які лазерні зображення.

За допомогою потужного генератора ефектів можна застосувати встановлені ефекти до будь-якого лазерного контенту включаючи ефекти лазерного променя, текст, графіку та лазерні логотипи.

Програмне забезпечення надає інструмент, який дозволяє автоматично синхронізувати лазерне шоу із музикою. Функція ідеально підходить для прямого лазерного шоу.

Якщо задача запустити шоу автоматично, не перебуваючи на станції керування, використовується функція автоматичного відтворення, яка запускає сигнали та вміст автоматично, на основі набору BPM, який **задаєть** оператор.

Програмне забезпечення має функцію “zones”, яка дозволяє легко керувати кількома лазерними проекторами одночасно. Можна вибрати незалежний чи загальний контроль.

Апаратні засоби програмного забезпечення були розроблені, щоб допомогти покращити вихід лазерного світла з проектора, який надає лазерні ефекти високої чіткості. Крім того, програмне забезпечення підтримує високошвидкісні сканери всередині професійних лазерних проекторів. Так що незалежно від того, який лазерний проектор використовується, програмне забезпечення може допомогти в оптимізації [10].



Рисунок 1.9 – iShow V3.0

Контролер програмного забезпечення iShow Laser Show підключається до USB порту комп'ютера і порту ILDA лазерного проектора.

Основні параметри:

- Програмне забезпечення підтримує ОС Win7, Win8, Win10, 32 та 64 біт;
- Файли ILDA відтворюються та редагуються;
- Підтримує будь-який лазерний проектор із інтерфейсом ILDA DB25;
- Максимальний контроль 5 штук (з DMX контролером) лазерних проекторів одночасно;
- Використовуйте кабель 100 Мбіт/с, не потребує драйвер;
- Має часову шкалу, чотири графічні треки, один музичний трек;
- Може редагувати всі лазерні кольори (червоний, зелений, синій, RGB колір);

- Може самостійно редагувати та відтворювати анімацію, графіку, текст, рекламу, назву компанії тощо;
- Програмне забезпечення поставляється з більш 100 видами анімації;
- Програмне забезпечення може редагувати лінії та форми для відображення, позиціонування, розмір, зміну, колір налаштування, зум, поворот, текст, список шрифтів, ширина, висота, налаштування курсу, відтворення/зміна порядку, додати, видалити, зберегти, копіювати кадр;
- Блок живлення постійного струму DC 5 В, USB 2,0, 3,0 для живлення комп'ютера;
- Використовують роз'єм RJ45 для комп'ютера, IP4V, статичний IP-адреса iShowV3 192.168.1.172, маска підмережі 255.255.255.0, тому для цього потрібен IP з тим же сегментом мережі.

Вимоги до комп'ютера:

- Сумісність з ОС Win9x, Win2000, WinXP, Win98, Win7, win10;
- Робота з графічним інтерфейсом USB2.0 та USB1.1;
- Процесор з тактовою частотою 2,4 ГГц або вище;
- Пам'ять 256 МБ або вище;
- Вартість 56 тисяч гривень;
- Дисплей екрана повинен підтримувати роздільну здатність 1024\*768 [11].



Рисунок 1.10 – Phoenix 4 PRO

PHOENIX 4 PRO – це останнє покоління пристроїв та програмного забезпечення для керування лазерним шоу, представленим на сучасному ринку. Апаратний комплекс Phoenix призначений для професійного керування незалежними лазерними системами, а також для інтеграції світлових ефектів за допомогою DMX та MIDI. Перевагою цієї системи є те, що відео потік точно синхронізується зі звуковим записом у режимі реального часу та виводиться у вигляді лазерних променів.

Основні параметри:

- понад 3.5 тисяч фігур та анімацій, розроблених професійними дизайнерами та близько 50 тисяч фреймів зібрані в об'ємній бібліотеці;
- понад 170 програмно синхронізованих лазерних шоу;
- зрозуміла ієрархічна система пошуку ;
- глобальні та індивідуальні налаштування лазерних фігур;
- можливість різноманітного управління об'єктами;
- персональне налаштування об'єктів для швидкого пошуку;
- живе лазерне шоу може керуватися зі звичайної медіаклавіатури;

- потужне програмне забезпечення з функціональною системою управління та бібліотекою файлів;
- біжучий рядок із текстом;
- точна зона проектування, що налаштовується програмно;
- растрове перетворення піксельних картинок;
- багатомовний інтерфейс;
- інтерфейс, що налаштовується користувачем, з різними налаштуваннями;
- автозбереження всіх дій щодо створення лазерних шоу на випадок збоїв;
- величезні можливості створення анімації та графіки;
- регулювання яскравості дисплея для комфортної роботи;
- можливість відтворювати всі поширені формати музики (MP3, WAV), CD, SMPTE, TIME LIVE;
- вартість 9 тисяч гривень;
- величезна кількість різних ефектів – кольорових, анімаційних, відеоефектів тощо.

Вимоги до комп'ютера:

- ПК з Windows XP, Vista або Windows 7 (32 біт і 64 біт)  
(немає офіційної підтримки віртуальних середовищ та Mac платформи);
- Процесор з тактовою частотою 2 ГГц (рекомендується: Duocore 2 × 2 ГГц);
- 2 Гб оперативної пам'яті (рекомендується 4 Гб);
- Жорсткий диск 10 Гб;
- 128 Мб відеокарта (рекомендується 512 Мб) з OpenGL та DirectX 9.0 (або вище);
- Клавіатура, миша (можливо, сенсорний екран для LIVE) [12];

#### **1.4 Висновки за розділом 1**

В даному розділі дипломної роботи наведено основні та додаткові можливості медіапроекторів, наведено декілька типів проекторів та їх характеристики.

Проаналізовано можливості та типи додаткового електронного обладнання для проведення світлових шоу. Визначено особливості та можливості сучасного програмного забезпечення, його параметри та вимоги.

## **2 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СУЧАСНИХ ПРОЕКТОРІВ ЗА ОСНОВНИМИ ПАРАМЕТРАМИ**

### **2.1 Визначення ефективності лампових проекторів для типової відстані в приміщенні за показниками яскравості та споживаної потужності**

Джерело світла в ламповому проекторі чи не найважливіший елемент - без нього неможливо проектувати зображення. Від параметрів лампи залежать такі характеристики апарата, як світловий потік та ціна обслуговування. У сучасних мультимедійних проекторах використовуються металогалоїдні або металогалогенні (альтернативна назва) лампи та лампи надвисокого тиску. Часто розрядні джерела світла, у тому числі і для проекторів, називають ксеноновими так, як ксенон основний газ атмосфери в колбі, але правильніше називати ці джерела світла металогалоїдними та надвисокими тисками.

Звичайно, багато чого при створенні яскравого зображення залежить від світломодулятора проектора, але найголовніше - це все ж таки лампа. Лампи в проекторах використовуються різної потужності від 120 до 575 Вт, є, більш потужні проекційні лампи, але вони не дуже поширені. Якщо в проекторі потрібен потужний світловий потік, наприклад 10000 ANSI-лм., можна поставити одну лампу на 1000 Вт, але виробники ставлять 4 X 250 Вт. Чотири лампи повільніше перегорають, так як апарати з таким джерелом забезпечуються функцією динамічного розподілу енергії, лампи працюють на повну потужність тільки у освітлених приміщеннях і коли потрібно показати особливо яскравий кадр. У таких проекторах для економії можна відключити кілька ламп і залишити їх у запасі. Також велику роль відіграє ціна та доступність.

Завдяки газорозрядним лампам з'явилася можливість встановлювати колірну температуру зображення, що виводиться проектором відповідно до загальноприйнятих стандартів колірної температури 9300K, 6500K і 5400K

(картинка при цьому від блакитного зміщується в область червоного спектру), при цьому, відчутно не знижується світловий потік.

Також із пов'язаних із лампою аспектів варто відзначити, що деталь це не вічна. Виробники проекторів її розглядають як витратний матеріал. Цей вузол (лампа у зборі з відбивним кожухом) досить дорогий: від 125 до 600 євро. Середній термін служби лампи становить близько 2000 годин, максимум 6000 годин. Разом при використанні проектора приблизно по дві години на день його вистачить на два роки в кращому випадку на шість [13].

Відстань від екрана до проектора - визначальний показник яскравості під час використання прямої проекції. Чим більший розмір екрана (а отже відстань від екрана до проектора буде більше), тим темніше зображення. Чим вище яскравість у проектора, тим більшого розміру екрана можна досягти при збереженні прийнятної якості відео, яке, у свою чергу, менш чутливе до зовнішнього засвічення. Стандарт вимірювання в ANSI Lm дає досить точне визначення яскравості проектора, але тільки в межах однієї технології проектування та типу ламп. Наприклад, LCD-і DLP-проектори при однаковій заявленій яскравості можуть відрізнятися суб'єктивним сприйняттям на 20-25%.

Власне від яскравості залежить, який розмір зображення на екрані можна отримати за наявних (і необхідних) параметрів зовнішнього освітлення.

- 200-500 ANSI-лм дають можливість створити чітко видиме та насичене зображення діагоналю 3,5 м на матовому білому екрані при сильному затемненні у приміщенні або 1-1,5 метра при неясковому світлі;
- для невеликих та середнього розміру кімнат достатньо використовувати проектор з яскравістю 400-600 лм;
- відносно невелике значення світлового потоку 700 лм дозволяє комфортно дивитися фільми при хорошому затемненні приміщення. Звичайно, у світлій

кімнаті такої яскравості, швидше за все, буде недостатньо, але домашній проектор - це не кухонний телевізор, користуються ним тільки вечорами (зазвичай);

- 900-1300 ANSI-лм дадуть чітку картинку на 2-3-метровому білому екрані при нормальному освітленні (лампи розжарювання чи денного світла); світловий потік 1000 лм знаходиться на достатньому рівні для проектора, але для презентацій, які часто проходять у неповній темряві, треба було б більше;
- яскравість 1200 лм буде більш ніж достатньо для використання проектора у складі домашнього кінотеатру або для демонстрації презентацій у невеликих приміщеннях;
- яскравість 1500 ANSI-лм - цього більш ніж достатньо для проведення якісних презентацій у приміщеннях невеликого розміру при освітленні або добре затемнених приміщеннях середнього розміру;
- проектори зі світловим потоком 2500 лм можна використовувати в досить великих або незатемнених приміщеннях;
- для великих екранів використовують проектори з яскравістю від 2000-3000 ANSI-лм до 7000-12000 ANSI-лм.

До яскравості можна віднести ще один параметр, який, на жаль, практично ніколи не вказується - це відношення освітленості в центрі і по краях зображення, що формується проектором. Якщо падіння яскравості від центру до краю екрана становить більше 20-25% - зображення не буде сприйматися рівномірним за освітленістю навіть при відтворенні рухомих об'єктів.

Перегляд фільму буде зручним, якщо яскравість зображення, пропорційна освітленості, не буде дуже великою або дуже малою. Взявши за основу освітленість екрану у стандартному кінотеатрі – лежить вона в межах 85-120 лк; при цьому нормативна яскравість екрана у професійних кінотеатрах (затемнених залах)

становить 25-60 кд/м<sup>2</sup> - за допустимий мінімум в області зображення можна прийняти середнє значення цього діапазону - близько 100 лк. Збільшення розміру зображення супроводжується зменшенням рівня освітленості, тому та діагональ, при якій освітленість екрана в області зображення впаде до 100 лк, і буде максимально досяжною діагоналлю даного проектора.

Якщо сторонні **заєвітки** екрана відображаються, перегляд зображення також буде комфортним, якщо контрастність зображення не знизиться нижче певної межі. Контрастність при засвіченні тим нижча, чим вищий рівень засвічення. Отже, для контрастного графічного зображення за мінімум контрастності можна прийняти величину 10:1, а для кінозображення більше - 50:1. Контрастність - співвідношення яскравості світлих та темних областей зображення ; визначає чіткість зображення. Зазвичай це співвідношення становить 100:1 або вище. Контрастність 300:1 сьогодні є стандартним значенням серед проекторів, заснованих на LCD технології.

Щодо потужності випромінюваного світлового потоку ANSI. Насамперед, яскравість важлива (до певної міри), але є вирішальним чинником в оцінці ефективності роботи домашнього кінотеатру. У темній кімнаті проектор на 700 ANSI-лм із гарним контрастом може виявитися дуже яскравим, оскільки світловий потік на квадратний фут у цьому випадку буде більшим, ніж на екрані у громадському кінотеатрі. Зазвичай, наші очі звикли до середнього рівня світла, що падає на екран. Причина того, що денне світло буквально “сліпить” при виході з кінозалу полягає в недостатній кількості світла: очі звикають до дуже **тьмяного** зображення.

У темному домашньому кінотеатрі легко звикають до розподілу потужності світлового потоку, що робить випромінювання, що робить фактор номінальної потужності ANSI відносно незначним. Достатньо мінімальної яскравості проектора, щоб висвітлити екран при гарному контрасті. Тоді і не доведеться пускати в хід велику яскравість, що дискомфортно засліплює. Для звичайного приміщення домашнього кінотеатру та стандартного розміру екрана цей діапазон становить

приблизно від 400 до 2000 ANSI-лм. Тому, теоретично, будь-який проектор, що знаходиться в цьому діапазоні, можна вважати досить яскравим, що забезпечує хороше зображення для домашнього кінотеатру. З цього погляду інші фактори, такі як контрастність, колір, пікселізація тощо стають важливішими факторами.

У випадку ж, якщо в кімнаті є трохи випадкового або звичайного навколишнього світла, то важливим фактором буде потужність випромінюваного світлового потоку. Світло (і не тільки денне) істотно впливає на контраст проекційної системи. І чим менша яскравість проектора, тим більша впливає навколишнє світло. Таким чином слід уникати проекторів з низькою номінальною потужністю світла, що випромінюють [14].

## **2.2 Визначення ефективності світлодіодних проекторів за основними параметрами**

Світлодіод (Light Emitting Diode) – найбільш енергоефективний засіб освітлення проектора. Крім того, світлодіодні лампи не перегорають у звичайному розумінні. Як і у випадку з будь-якою іншою схемою, вони можуть вийти з ладу, але їх термін служби становить близько 20 000 годин, у порівнянні з менш ніж 5 000 у типової металогалогенної лампи. Світлодіоди мають два основних обмеження для більш широкого застосування в проекторах: більш низька яскравість і нижчий індекс кольору (CRI) порівняно з металогалогеновими аналогами.

Більшість проекторів, що працюють тільки на світлодіодах, випромінюють менше 1000 люмен і відносяться майже виключно до категорії кишенькових проекторів.

Кишенькові проектори – портативні, деякі не набагато більші за смартфон, деякі нагадують мініатюрні мультимедійні проектори. Їх краще розглядати як заміну монітору комп'ютера або невеликому телевізору, який можна взяти з собою.

Оскільки ці проектори зазвичай використовують світлодіодні лампи, щоб уникнути високого енергоспоживання та громіздких систем охолодження, їх перевага в портативності нівелюється розміром зображення. Яскравість світлодіодних проекторів зазвичай від 25 до 1500 ANSI люмен, тоді як нормальні мультимедійні проектори починаються з 2500 люмен. У них також, як правило, немає оптичного зуму, а це означає, що потрібно буде гнучко розміщувати проектор, щоб отримати бажаний розмір зображення[15].



Рисунок 2. 1 – Кишеньковий проектор AAXA Technologies WVGA

Колірна гама світлодіодів, що використовуються в проекторах, як правило, охоплює або перевищує колірну гаму REC 709 відео високої чіткості. Це гарантує більш чисті, насичені кольори з великим контрастом кольору, в порівнянні з традиційними ламповими проекторами. Це робить світлодіодні проектори ідеальними для перегляду фільмів як Blu-Ray та для відтворення відео-ігор з їх розширеним колірним охопленням та HDR.

Ще одним плюсом при використанні світлодіодних проекторів є те, що вони не потребують попереднього прогріву після включення. Відео відразу можна дивитися з максимальною яскравістю.

Більшість світлодіодних проекторів на ринку називають 3LED проекторами. 3LED проектори – це проектори, джерелами світла яких є індивідуальні світлодіодні електроди для кожного з трьох основних кольорів у цвітовій системі RGB: червоного, зеленого та синього. Потім ці кольори об'єднуються та трансформуються у всі кольори зображення для надсилання на об'єктив проектора.

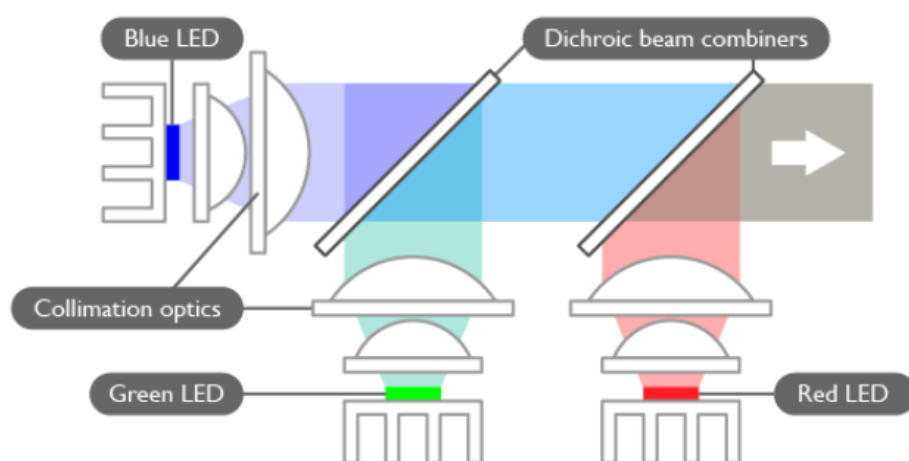


Рисунок 2. 2 – Світлодіодне джерело світла (3LED)

Одна з ключових особливостей 3LED-проекторів, яка буде важлива розгляді 4LED-проекторів, полягає в тому, що зелений колір у 3LED-проекторі насправді є синім кольором, який перетворюється на зелений за допомогою процесу, який “порушує” спеціальну фосфорну керамічне середовище у структурі проектора. Обґрунтування використання перетвореного зеленого світла полягає в тому, що в колірній системі RGB зелене світло - це світло, яке найбільше відповідає за яскравість при перегляді. Однак, яскравості стандартного зеленого світлодіода зазвичай недостатньо для отримання зображень, потрібних від проектора. При використанні перетвореного зеленого яскравість зеленого кольору посилюється, і, таким чином, загальна яскравість зображення збільшується до стандарту, прийнятного для проекторів. Розробка 4LED-проекторів безпосередньо пов'язана із

цією концепцією. Це наступний крок у технології світлодіодних проекторів, призначений для покращення яскравості та насиченості кольорів поточної 3LED технології.

За визначенням 4LED-проектори це світлодіодні проектори, в яких доданий додатковий синій світлодіод в 3LED систему. Його світло також перетворюється на зелений, щоб посилити загальний вихід зеленого кольору. При додаванні окремого джерела світла вихід зеленого кольору збільшується на 40%, що, у свою чергу, призводить до збільшення загальної яскравості на 8-12% в порівнянні з 3LED-проектором. Така конструкція також зберігає площу поверхні вихідних трьох світлодіодів незмінною, тим самим уникаючи необхідності значно збільшити розмір проектора для розміщення більших світлодіодів, так і додаткового нагріву, який буде вироблятися цими світлодіодами, що вплине на термін служби світлодіода [16].

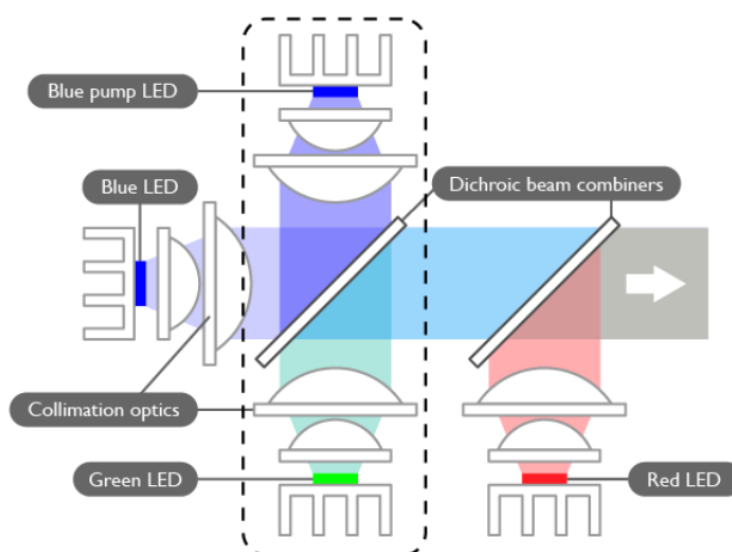


Рисунок 2. 3 – Світлодіодне джерело світла (4LED) [16]

Переваги світлодіодних проекторів не закінчуються. До них також можна віднести невисоке енергоспоживання. Подібні прилади споживають близько 10 Вт,

що майже в 10 разів менше, ніж у класичних відеопроєкторів. Завдяки такій особливості не лише скоротилися витрати на використання девайсу, а й з'явилася можливість обладнати їх автономними акумуляторами.

Безперечною перевагою цих проєкторів можна вважати і багатофункціональність. Багато приладів оснащені додатковими функціями та інтерфейсами для підключення мобільних пристроїв, що дозволяє транслювати зображення навіть зі смартфона.

Незважаючи на всі переваги, LED-проєктори так і не витіснили з ринку традиційні пристрої. Подібна ситуація легко пояснюється декількома недоліками цих приладів.

Крім невисокої потужності світлового потоку проєктори мають низьку роздільну здатність. Тому близьке розташування проєктора щодо екрана/стіни призводить до «замилування» картинки.

Ще ~~однією~~ проблемою являється шум. Рівень шуму, що видається світлодіодними девайсами, може досягати 40 дБА. Такий показник легко вловлюється людським вухом, якщо прилад розташований практично над головою [17].

### **2.3 Визначення ефективності лазерних проєкторів за основними параметрами**

Даний тип проєкторів на сьогоднішній день є найбільш високотехнологічним, вони забезпечують найвищу яскравість картинки, що відтворюється, і максимально можливу кольоропередачу. Лазерні проєктори об'єднують ще багато переваг.

Незалежно від типу проєктора їх поєднує базовий принцип роботи. Джерело світла виробляє світловий потік, який прямує на спеціальну матрицю. Матриця у

свою чергу або відкриває, або закриває певні осередки, тим самим потік світла, що проходить, формує необхідну картинку. Але тут не все так просто, наприклад, для формування якісного кольорового зображення виробники встановлюють відразу три матриці для базових кольорів (червоний, синій, зелений). Ще одним конструкційним рішенням може стати установка матриці у вигляді диска, що обертається, кожен сектор якого відповідає за свій колір.

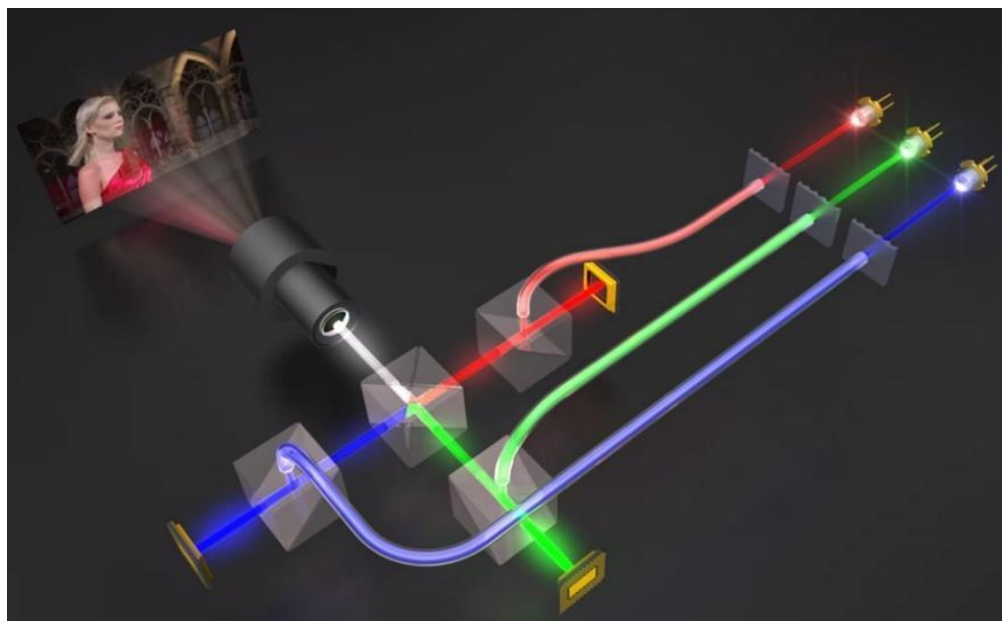


Рисунок 2. 4 – Лазерне джерело світла

Одними з основних характеристик проектора є яскравість світлового потоку та контрастність. Тут варто звернути увагу на те, що при виборі параметрів яскравості варто орієнтуватися на ANSI-lumens, а не на звичні люмени. І той, і інший параметр відображає яскравість світлового потоку, проте методика вимірювань відрізняється. Параметри ANSI-lumens використовуються безпосередньо в проекторах і є більш об'єктивними. Іноді виробники часто вказують яскравість своїх проекторів у звичайних люменах, це свого роду пікові значення (Peak-lumens).

Проектори із яскравістю світлового потоку близько 1000 ANSI-lumens підходять для застосування у добре затемнених приміщеннях. Лазерні моделі можна

придбати зі значеннями від 2000 ANSI-lumens, такі моделі вже можна використовувати у світліших приміщеннях або вдень.

Розмір зображення залежить від відстані від проектора до поверхні, на якій проектуватиметься зображення. Чим більша відстань, тим більше зображення. Проте, оскільки яскравість зменшується пропорційно відстані, що далі проектор, то менше яскравості.

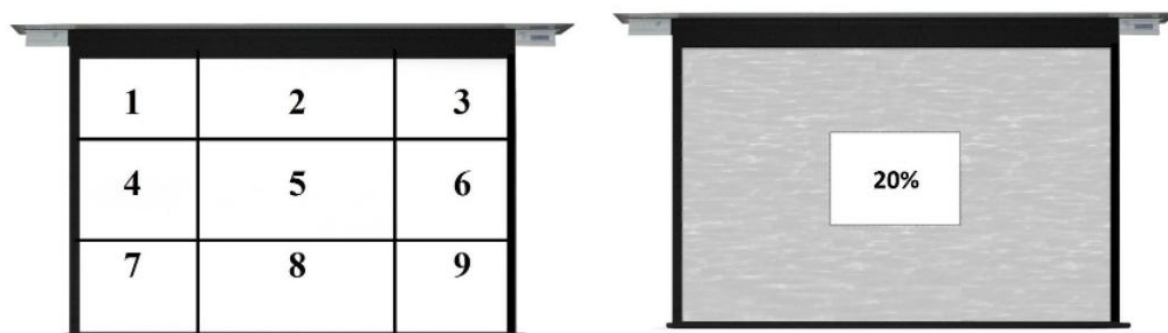


Рисунок 2. 5 – ANSI-lumens та Peak-lumens

Що стосується контрастності проекторів, то вона поділяється на динамічну та статичну. У сучасних моделях лазерних проекторів статична контрастність може мати значення 1000:1, а параметри динамічної контрастності знаходяться близько 2000000:1. Такі параметри співставні з характеристиками сучасних телевізорів, а також означають, що картинка, що видається, буде яскравою як у добре освітленому приміщенні, так і в темному [18].

Роздільна здатність проектора вимірюється в пікселях, і чим більше воно, тим чіткіше і краще визначається зображення. Якісніші зображення вимагають більш високої роздільної здатності. При включенні лазерного проектора формується промінь, що пробігає по поверхні екрана або стіни з частотою близько 50 разів на секунду. Таким чином формується цілісне зображення.

Чим вище яскравість, тим більша ефективність по відношенню до навколишнього освітлення; Чим вище контраст і роздільна здатність, тим краще якість зображення. Звукові та відеозв'язки також важливі для забезпечення якості використання. Інші елементи, які необхідно враховувати - це вага пристрою і шум.

Існує 2 типи потужності, кожен з яких по-своєму важливий:

- Сумарна потужність. Вкрай важливий параметр, який обчислюється шляхом складання потужностей всіх лазерних модулів конкретного проектора. Наприклад, якщо у моделі закладено потужність 1 Вт зеленого кольору (532nm), 1 Вт синього кольору (445nm) та 1 Вт червоного кольору (650nm), підсумковий показник складе 3 Вт. Цей параметр визначає максимальну яскравість пристрою.
- Показники потужності за режиму балансу білого. Від цього параметра залежить те, наскільки чітко проектуватиметься кожен колір і чи не буде один відтінок домінувати над іншими. Найчастіше, при порушенні роботи в режимі балансу білого найбільше починає проявлятися зелений колір, червоний страждає найбільшою мірою. Існують певні емпіричні дані, що дозволяють вирахувати оптимальний баланс білого. Наприклад, при 1 частині зеленого кольору потрібно мати 2 частини синього, а також 4 частини червоного світлового потоку. Іншими словами, співвідношення R:G:B має становити 4:1:2. Щоб було ще зрозуміліше, візьмемо умовний проектор, що має загальну потужність у балансі білого, що дорівнює 1,75 Вт. Тут потужність зеленого кольору повинна дорівнювати 250 мВт, синього – 500 мВт, а червоного – рівно 1 Вт. Чим вище показники загальної потужності при такому режимі, тим яскравішим і насиченішим може вийти підсумкова картинка [19].

## **2.4 Аналіз 3 типів проекторів різних виробників одного цінового сегменту за параметрами ефективності**

Таблиця 2.1 – Порівняння проєкторів за параметрами

| Проектор                              | Яскравість | Контрастність | Роздільна<br>здатність | Енергоспо-<br>живання |
|---------------------------------------|------------|---------------|------------------------|-----------------------|
| Ламповий<br>проектор Epson<br>EB-FH06 | 3500 Лм    | 16000:1       | 1920x1080              | 210 Вт                |
| Ламповий<br>проектор Optoma<br>HD29H  | 3400 Лм    | 50000:1       | 1920x1080              | 295 Вт                |
| Ламповий<br>проектор Acer<br>P5530i   | 4000 Лм    | 20000:1       | 1920 x1200             | 290 Вт                |
| LED проектор<br>Asus F1               | 1200 Лм    | 800:1         | 1920x1080              | 100 Вт                |
| LED проектор<br>Acer XD1520i          | 1600 Лм    | 1000000 :1    | 1920x1080              | 177 Вт                |
| LED проектор LG<br>CineBeam<br>PF50KS | 600 Лм     | 100000:1      | 1920x1080              | 65 Вт                 |
| Лазерний<br>проектор Casio<br>XJ-V2   | 3000 Лм    | 20000:1       | 1024 x 768             | 165 Вт                |
| Лазерний<br>проектор Optoma<br>ZX300  | 3500 Лм    | 300000:1      | 1024 x 768             | 145 Вт                |
| Проектор Epson<br>EF-11               | 1000 Лм    | 2500000:1     | 1920x1200              | 102 Вт                |

## 2.5 Висновок за розділом 2

Визначено ефективність кожного виду проекторів, на підставі проведеного аналізу можна зробити висновок що для приміщенні де вимоги до якості мінімальні (наприклад навчальні заклади, де проектор дозволяє демонструвати презентації та навчальні фільми) та при наявності вимоги до ціни і яскравості де можливе затемнення підійдуть одночипові лампові та світлодіодні проектори з яскравістю 700 – 1000 ANSI люмен, у приміщеннях, де із затемненням є проблеми, потрібен потужніший світловий потік, відповідно, від 1000 ANSIlm і вище. Як правило, у співвідношенні яскравість/ціна віддають перевагу ламповим проекторам. Для приміщень з можливістю затемнення лампові проектори вважаються кращими. Вибір бізнес проектора для презентацій також буде пов'язаний з умовами роботи та завданнями, з різницею, що, як правило, для бізнесу необхідна більша роздільна здатність (HD), відповідно зростає вартість.

Для професійних презентацій та тривалої роботи можуть застосовуватися лазерні проектори, які забезпечують тривалу роботу та високоякісне зображення, як правило, з FullHD та WUXGA, 4K HD роздільною здатністю. Значення світлового потоку в подібних проекторах, розрахованих на роботу в освітлених приміщеннях, а також вдень на вулиці може досягати 20000 ANSI lm.

## **3 ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МАСОВИХ ЗАХОДІВ З ЕФЕКТАМИ СВІТЛОВОГО ШОУ**

Для проведення порівняльного аналізу світлових шоу оберемо найбільш яскраві та розрекламовані масові заходи з найсучаснішим технічним обладнанням та складними технологічними рішеннями світлових ефектів.

### **3.1 “Легенда про Пангу”**

Проект передбачав створення приголомшливого мультимедійного шоу, яке поєднує стародавні китайські казки з сучасною архітектурою та культурою, за підтримки передових технологій.

Відкритий у вересні 2019 року, захід проходив у Ланьчжоу, Китай. Для проведення заходу був обраний театр розміром 110 x 100 x 38 метрів на 1500 місць. Побудований спеціально для вистави, театр має чудову архітектуру з куполом і відкритим небом у центрі. Зона для глядачів розташована під однією половиною купола і направлена до іншої половини, яка використовується для сцена (рис.3.1). У зоні сцени дах купола містить отвір для підтримки сценографії шоу та використання води, освітлення та лазерних ефектів.



Рисунок 3.1 – Зона для глядачів та сцена

До обладнання входить 30 відеопроєкторів Christie і 8 медіа серверів від Modulo Pi (2 робочі станції Modulo Kinetic Designer і 6 серверів V-Node).

Робочі станції використовувалися для моделювання шоу та VR, програмування, ефектів та відтворення медіа.

Для відеопроєкції було встановлено 2 водяні екрани: Magic Screen — це мобільна проєкційна поверхня площею 400 кв.м. та Cascade Screen — це найбільший подвійний вигнутий водяний екран у світі, додаючи ще 960 кв.м проєкції.

Обидва водяні екрани дозволяють перекривати проєкції, граючи з прозорістю води. Для цього використовується 8 лазерних проєкторів Christie Crimson HD 25K і 2 лазерних проєктори Christie DS+ 14K-M.

Для проєкції на купол знадобилося 20 лампових ~~проекторів~~ Christie Boxer 2K30, що дозволило покрити площу 2800 кв.м.(рис.3.2).

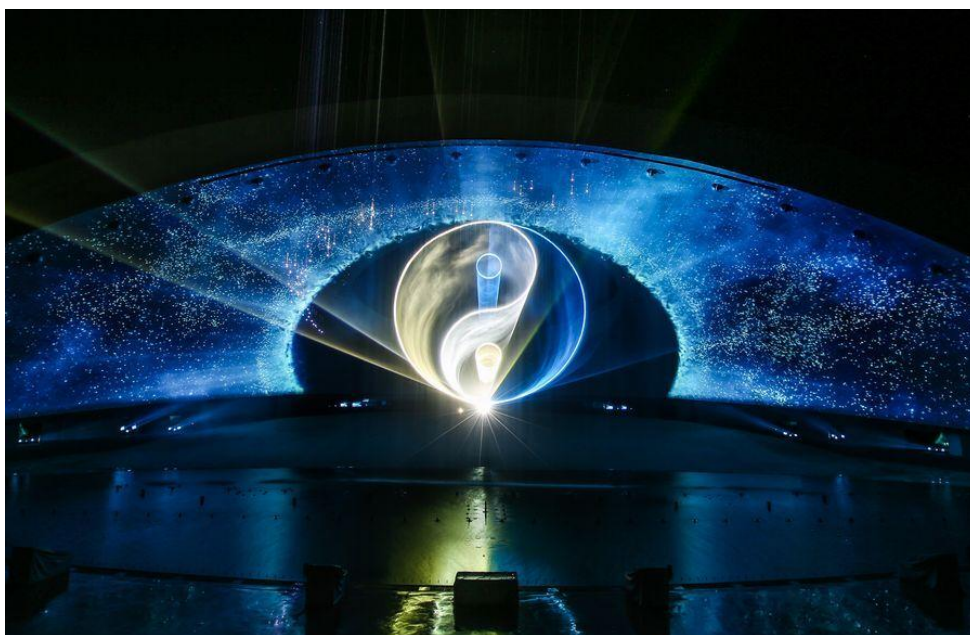


Рисунок 3.2 – Проєкційна поверхня купола

Досягнення такого відображення відео на подвійному вигнутому асиметричному куполі було найбільшою проблемою. Щоб забезпечити безперебійну проєкцію мультимедіа на протязі всього шоу без променів світла, змінених водними

ефектами, відеопроєктори повинні були бути встановлені у вигляді 10 подвійних стеків по всій основі купола. Розташування відеопроєкторів призводило до надзвичайно деформованої та блискучої проекції, що перетворило їх калібрування на дуже складне завдання.

Для вирішення проблеми була використана функція автоматичного калібрування вбудована в медіа сервер. Автокалібрування дозволило автоматично обробляти плавні переходи і геометрію за короткий проміжок часу [20].

Таблиця 3.1 – Основна інформація та технічне забезпечення світлого шоу

|                             |                     |
|-----------------------------|---------------------|
| Назва заходу                | “Легенда про Пангу” |
| Рік проведення              | 2019                |
| Охоплення аудиторії         | 1500                |
| Кількість проєкторів        | 30                  |
| Тип проєкторів              | Лазерні та лампові  |
| Кількість серверів          | 6                   |
| Кількість станцій керування | 2                   |
| Вид екранів                 | Водяні              |
| Кількість екранів           | 2                   |

### 3.2 “La Clé des Songes”

У парку Футуроскоп, Жоне-Клан, Франція, тепер можуть насолодитися “La Clé des Songes” (“Ключ до мрій”), нічним шоу, представленим у водному амфітеатрі парку на 5000 місць, який відкритий з 26 червня 2021 року. Шоу пропонує публіці фантастичну подорож, засновану на кількох мультимедійних технологіях, включаючи відеопроєкцію, лазери, полум’я та водяні струмені. Захоплююче шоу засноване на 10 відеопроєкторах і 3 мультимедійних серверах.

Було розроблено нову сценографію навколо вихрової структури, вже існуючого елемента вагою 28 **тонн**, 157 граней якого утворюють проекційну поверхню площею 270 кв.м. (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – Проекційна поверхня зі 157 граней

Щоб збільшити вихор, освітлений 5 ламповими відеопроєкторами Christie LX1500, було додано медіа сервер до вже встановленого обладнання. Таким чином, до диспетчерської було додано 1 робочу станцію керування, а також 2 сервери Kinetic V-Node, кожен з яких оснащений 6 виходами.

Проекційне дослідження було зроблено в медіа сервері з використанням спеціальних інструментів, наявних у програмному забезпеченні. Завдяки системі віртуальних камер і 3D-калібрування проєкторів, медіа сервер дозволив створити 3D-проекцію на **вихрі**, в результаті чого була анімована фреска з різноманітною атмосферою протягом усього шоу.

На додаток до цієї поверхні площею 270 кв.м., шоу включає 950 кв.м. проєкції на водяні екрани та 450 кв.м. проєкції на сітку висотою 35 м. Ці проєкції засновані на 5 лазерних проєкторах Varco DP4K-45L з яскравістю від 18000 до 44000 люмен, а також медіа серверу для 3D-проекцій і відтворення медіа.

Крім того, функція відображення світлодіодів дозволяє контролювати більше 300 вогнів, що розповсюджуються по поверхні води[21].

Таблиця 3.2 – Основна інформація та технічне забезпечення світлого шоу

|                             |                       |
|-----------------------------|-----------------------|
| Назва заходу                | “ La Clé des Songes ” |
| Рік проведення              | 2021                  |
| Охоплення аудиторії         | 5000                  |
| Кількість проєкторів        | 10                    |
| Тип проєкторів              | Лазерні та лампові    |
| Кількість серверів          | 2                     |
| Кількість станцій керування | 1                     |

### 3.3 Перший фестиваль світла, Сан-Франциско

З 3 по 12 грудня 2021 року в місті Сан-Франциско відбувся перший фестиваль світла. Створені проєкції на кілька символічних будівель, розташованих у фінансовому районі Сан-Франциско, включаючи Тихоокеанську фондову біржу, Hyatt Regency, 345 California та One Bush Plaza.



Рисунок 3.4 – проєкція на Тихоокеанську фондову біржу

Фестиваль відвідало 36000 людей, які мали змогу насолоджуватися 5-12-хвилинними шоу в кожній будівлі.

Щоб забезпечити яскраве проекційне відображення на чотирьох різних будівлях, було використано 18 відеопроєкторів Panasonic PT-RQ35K і 7 медіасервер~~вер~~ів.

Щоб підготувати 3D мапінг, було використано інструменти дослідження 3D-проекції, вбудовані в програмне забезпечення медіасервер~~вер~~у.

Завдяки функції X-map вихідні данні проєкторів було легко деформовано, щоб ідеально відобразити форми будівель

Для точного налаштування оператори використовували програму Wap Remote. Щоб спростити керування 4 різними локаціями протягом 10-денного фестивалю проєктори були об'єднані в мережу та керовані серверами, вмикалися та вимикалися щовечора, показували шоу потрібний час [22].

Таблиця 3.3 – Основна інформація та технічне забезпечення світлого шоу

|                             |                         |
|-----------------------------|-------------------------|
| Назва заходу                | Перший фестиваль світла |
| Рік проведення              | 2021                    |
| Охоплення аудиторії         | 36000                   |
| Кількість проєкторів        | 18                      |
| Тип проєкторів              | Лазерні                 |
| Кількість серверів          | 7                       |
| Кількість станцій керування | 1                       |

### 3.4 Bassins de Lumières

У червні 2020 р. було відкрито найбільший у світі центр Bassins de Lumières (Басейни вогнів) з загальною площею проекції 14000 кв.м. Через два тижні після відкриття незважаючи на особливі умови, пов'язані з Covid-19, Bassins de Lumières прийняли понад 30000 відвідувачів Розташований на колишній базі підводних човнів часів Другої світової війни в Бордо, Франція.

Місце проведення складається з 4 великих водойм, присвячених основним художнім виставкам. Кожен ставок має довжину 100 метрів, ширину 22 метри та висоту 12 метрів.

Щоб доповнити враження відвідувачів, були створені додаткові зони, включаючи імерсивний басейн, куб, присвячений сучасному імерсивному мистецтву, музейний простір та освітню зону.

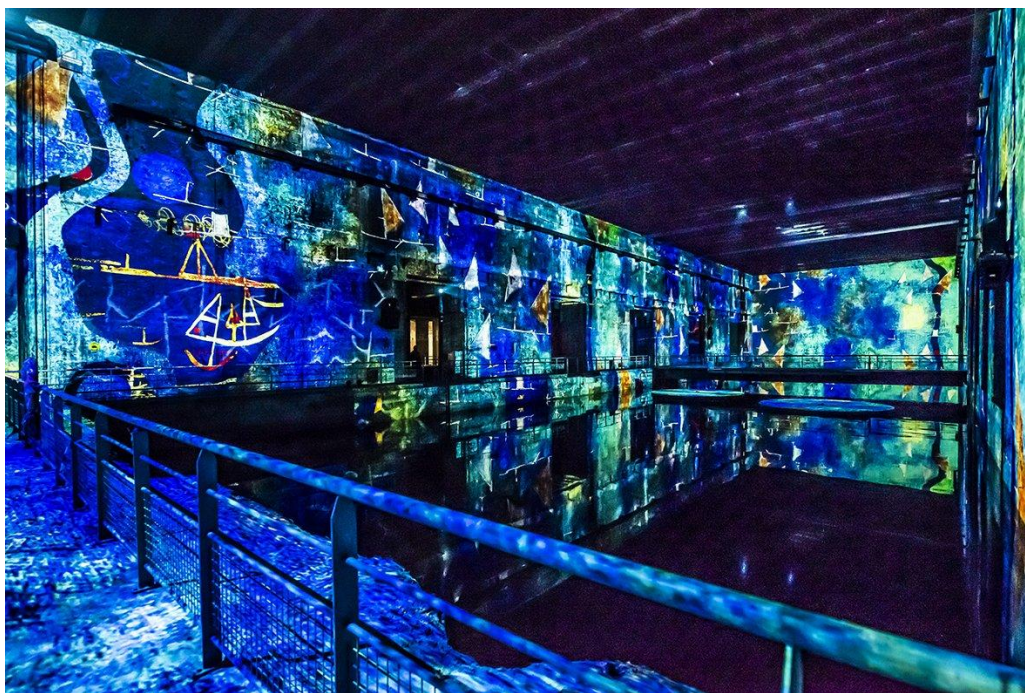


Рисунок 3.5 – Зона «імерсивний басейн»

Щоб забезпечити безперебійну проекцію художніх виставок на монументальне полотно, знадобилося 95 відеопроєкторів, у тому числі 71 лазерний

проектор Barco F80-Q12 і 24 лазерні проектора Barco G60-W10. Усі відеопроєктори були встановлені у водонепроникних корпусах для захисту від можливого проникнення води з даху будівлі.

Щоб жити відеопроєктори було встановлено 31 медіа сервер, 3 пульти керування та 28 серверів V-Node з 4 виходами кожен. Вони відігравали важливу роль у процесі проекту, включаючи дослідження, моделювання, деформацію, відтворення та керування шоу.

Інструменти композитінгу, що цифрового мистецтва вбудовані в програмне забезпечення допомогли впоратися з проблемами, пов'язаними з унікальними місцями, наприклад, вода у ставках щодня підіймається і опускається на 1,5 м через океанські припливи. Відеопроєкція встановлюється на відлив, а деякі динамічні маски в програмному забезпеченні створить градацію, щоб забезпечити плавний перехід зображення під час припливу. Завдяки редактору графіків отримується вимірювання лазерного вимірювача в програмному забезпеченні, положення маски автоматично змінюється відповідно до рівня води.

Крім того, інструменти композитінгу дозволяє налаштувати колориметрію там, де це необхідно. Відображення проєкції часто супроводжується проблемами колориметрії, оскільки, наприклад, стіна може бути темнішою, ніж очікувалося.

З освітлення, було встановлено 167 LED архітектурних систем освітлення Anolis, щоб покращити унікальну архітектуру Bassins de Lumières. Світлове шоу було закодовано на консолі grandMA2 компанією MA Lighting, а відтворення здійснювалося через сервер.

Що стосується світла під час шоу, світлодіодне відображення через медіа сервер дало дизайнерам шоу можливість керувати світлом через DMX, щоб відео та світло могли ідеально гармоніювати. Кілька басейнів Bassin de Lumières доступні для приватного бронювання тому сервери V-Node оснащені картами живого захоплення[23].

Таблиця 3.4 – Основна інформація та технічне забезпечення світлого шоу

|                             |                     |
|-----------------------------|---------------------|
| Назва заходу                | Bassins de Lumières |
| Рік проведення              | 2020                |
| Охоплення аудиторії         | 30000               |
| Кількість проєкторів        | 95                  |
| Тип проєкторів              | Лазерні             |
| Кількість серверів          | 28                  |
| Кількість станцій керування | 3                   |
| Системи освітлення          | 167                 |

### 3.5 Висновок за розділом 3

Мінімальна кількість проєкторів була задіяна в шоу La Clé des Songes, максимальна в шоу Bassins de Lumières, найменше охоплення аудиторії мало шоу “Легенда про Пангу”, найбільше Перший фестиваль світла. Найбільша кількість серверів та станцій керування мало шоу Bassins de Lumières, тому що це багатогранна виставка цифрового мистецтва, найменше серверів було задіяно в шоу La Clé des Songes, тому що для шоу знадобилося найменша кількість проєкторів, в шоу “Легенда про Пангу” було використано 2 водні екрани, в шоу Bassins de Lumières системи архітектурного освітлення.

## 4 ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СВІТЛОВИХ ШОУ

Для проведення аналізу світлових шоу оберемо параметр енергоспоживання, який серед інших важливих параметрів, як кількість глядачів, вартість тощо, є таким, що суттєво впливає на проблеми екології.

### 4.1 Визначення енергоспоживання проекторами

Для визначення ефективності світлових шоу доцільно порівняти енергоспоживання проекторів.

Таблиця 4.1 – Енергоспоживання проекторів

| Світлове шоу        | Проектор                | Енергоспоживання |
|---------------------|-------------------------|------------------|
| “Легенда про Пангу” | Christie Crimson HD 25K | 3200 Вт          |
|                     | Christie DS+ 14K-M      | 1500 Вт          |
|                     | Christie Boxer 2K30     | 3800 Вт          |
| “La Clé des Songes” | Christie LX1500         | 1800 Вт          |
|                     | Barco DP4K-45L          | 5200 Вт          |
| Фестиваль світла    | Panasonic PT-RQ35K      | 2550 Вт          |
| Bassins de Lumières | Barco F80-Q12           | 1200 Вт          |
|                     | Barco G60-W10           | 1080 Вт          |

### 4.2 Визначення енергоспоживання серверами

Для визначення ефективності світлових шоу доцільно порівняти енергоспоживання серверів.

Таблиця 4.2 – Енергоспоживання серверів

| Світлове шоу         | Сервер                | Енергоспоживання |
|----------------------|-----------------------|------------------|
| “Легенда про Пангу”  | Modulo Kinetic V-Node | 450 Вт           |
| “ La Clé des Songes” | Modulo Kinetic V-Node | 450 Вт           |
| Фестиваль світла     | Modulo Kinetic V-Node | 450 Вт           |
|                      | Modulo Player         | 300 Вт           |
| Bassins de Lumières  | Modulo Kinetic V-Node | 450 Вт           |

### 4.3 Сумарне енергоспоживання при проведенні заходів

Для визначення ефективності світлових шоу за паспортними параметрами енергоспоживання і кількістю задіяного обладнання доцільно обчислити сумарне енергоспоживання.

Таблиця 4.3 – Сумарне енергоспоживання

| Світлове шоу        | Кількість | Обладнання              | Сумарне енергоспоживання |
|---------------------|-----------|-------------------------|--------------------------|
| “Легенда про Пангу” | 8         | Christie Crimson HD 25K | 107.3 кВт                |
|                     | 2         | Christie DS+ 14K-M      |                          |
|                     | 20        | Christie Boxer 2K30     |                          |
|                     | 6         | Modulo Kinetic V-Node   |                          |

Продовження таблиці 4.3

|                      |    |                       |            |
|----------------------|----|-----------------------|------------|
| “ La Clé des Songes” | 5  | Christie LX1500       | 35.9 кВт   |
|                      | 5  | Barco DP4K-45L        |            |
|                      | 2  | Modulo Kinetic V-Node |            |
| Фестиваль світла     | 18 | Panasonic PT-RQ35K    | 48.15 кВт  |
|                      | 1  | Modulo Kinetic V-Node |            |
|                      | 6  | Modulo Player         |            |
| Bassins de Lumières  | 71 | Barco F80-Q12         | 123.72 кВт |
|                      | 24 | Barco G60-W10         |            |
|                      | 28 | Modulo Kinetic V-Node |            |

#### 4.4 Висновок за 4 розділом

Було визначено енергоспоживання проекторів, енергоспоживання серверів, зведено в одну таблицю обладнання та визначено сумарне енергоспоживання при проведенні заходів, шоу Bassins de Lumières має найбільше енергоспоживання, адже задіяно найбільша кількість проекторів та серверів, шоу “Легенда про Пангу” має високе енергоспоживання, в ньому задіяна значна кількість потужних проекторів. Фестиваль світла в Сан-Франциско хоч і має не найменше енергоспоживання але має найбільше охоплення аудиторії, тобто це саме енергоефективне світлове шоу.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В дипломній роботі було досліджено ефективність електронних систем технологій світлових шоу. Було розглянуто основні та додаткові можливості медіапроекторів, визначено особливості та можливості сучасного програмного забезпечення для світлових шоу, його параметри та вимоги.

Проаналізовано ефективність проекторів, порівняно 3 різних типи проекторів від різних виробників в одному ціновому діапазоні за параметрами яскравості, енергоспоживання, роздільної здатності, контрастності. На підставі проведеного аналізу було зроблено висновок щодо ефективності використання 3 типів проекторів при конкретних параметрах в конкретних умовах.

Для більш детального аналізу обладнання було обрано декілька масових заходів світлових шоу, визначено особливості програмного забезпечення для керування обладнанням, унікальні ефекти, створені завдяки програмному забезпеченню та обладнанню, види та кількість задіяного обладнання, типи обладнання, охоплення аудиторії.

Проведено порівняльний аналіз ефективності світлових шоу за параметром енергоспоживання. Визначено сумарне енергоспоживання при проведенні заходів, зроблено висновки щодо енергоефективності обраних світлових шоу.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Функціональні можливості проекторів [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.kino.nn.ru/funkcionalnye-vozmozhnosti-proektorov-dlya-domashnego-kinoteatra.html> (дата звернення: 02.05.2022).
2. Кінотеатральний проектор D-ILA проектор 8K JVC DLA-NX9 Black: веб-сайт.URL: <https://4club.com.ua/kinoteatralnyy-d-ila-proektor-8k-jvc-dla-nx9-black/> (дата звернення: 02.05.2022).
3. Короткофокусний проектор Optoma X316ST [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://4club.com.ua/korotkofokusnyy-proektor-optoma-x316st/> (дата звернення: 05.05.2022).
4. Мультимедійний проектор Hitachi CP-X5550 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://4club.com.ua/multimediyyny-proektor-hitachi-cp-x5550/> (дата звернення: 05.05.2022).
5. Сучасна світлодіодна установка [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://4club.com.ua/light/strobe/> (дата звернення: 18.05.2022).
6. Прожектори та їх види [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://4club.com.ua/light/projectors/> (дата звернення 21.05.2022).
7. Підтримка колорченджера [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://4club.com.ua/light/intellektualnyj-svet/kolorchejndzheryyn/> (дата звернення 21.05.2022).
8. Приклади застосування обертових голів [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://4club.com.ua/light/intellektualnyj-svet/dvizhushiesja-golovy/> (дата звернення 22.05.2022).
9. Управління світловим обладнанням [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://4club.com.ua/light/pribory-upravlenija-svetom/> (дата звернення 22.05.2022).
10. Введення FB4 MAX із Quickshow [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://russian.alibaba.com/product-detail/ilda-laser-light-show-software-fb4-max-with-quickshow-60558619776.html> (дата звернення 22.05.2022).

11. Контролер програмного забезпечення iShow Laser Show [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://aliexpress.ru/item/32724792640.html?sku\\_id=61228201074&spm=a2g0o.search.0.0.ed6e78249mibLn](https://aliexpress.ru/item/32724792640.html?sku_id=61228201074&spm=a2g0o.search.0.0.ed6e78249mibLn) (дата звернення 22.05.2022).
12. Опис та характеристики PHOENIX LIVE 4 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.djarena.ru/index.php?productID=961> (дата звернення 22.05.2022).
13. Особливості та технології лампових проекторів [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.hifinews.ru/advice/details/35.htm> (дата звернення: 25.05.2022).
14. Що таке яскравість проектора [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.led-projector.com.ua/8-blog/12-yarkost-proektora-v-chjom-izmeryayut-i-na-chto-vliyaet> (дата звернення: 25.05.2022).
15. Світлодіодні проектори [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.proektor.org/voprosy/kak-vybrat-proektor/?jr=on> (дата звернення: 25.05.2022).
16. Чому варто вибрати світлодіодний проектор? Які у нього переваги? [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.benq.com/ru-ru/knowledge-center/knowledge/why-you-should-choose-4led-projectors-and-their-long-lasting-colors.html#S1> (дата звернення: 25.05.2022).
17. LED-проектори: плюси та мінуси пристроїв [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://24news.com.ua/229377-led-proektory-plyusy-i-minusy-ustrojstv/> (дата звернення: 25.05.2022).
18. Як вибрати лазерний проектор для дому [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://www.ixbt.com/live/tv/kak-vybrat-lazernyy-proektor-dlya-doma.html#con\\_1fiv224e31a](https://www.ixbt.com/live/tv/kak-vybrat-lazernyy-proektor-dlya-doma.html#con_1fiv224e31a) (дата звернення: 30.05.2022).
19. Потужність - один із найважливіших параметрів лазерних проекторів [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://eltctricon.ru/tools/how-to-choose-a-laser-projector/?jr=on> (дата звернення: 30.05.2022).

- 20.The Legend of Pangu in Lanzhou, China [Электронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.modulo-pi.com/showcase/the-legend-of-pangu-lanzhou/> (дата звернення: 06.06.2022).\
- 21.The Key to Dreams, Futuroscope park [Электронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.modulo-pi.com/showcase/key-to-dreams/> (дата звернення: 06.06.2022).
- 22.First Festival of Lights, San Francisco [Электронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.modulo-pi.com/showcase/sanfrancisco-light-festival/> (дата звернення: 06.06.2022).
- 23.Як вибрати лазерний проектор для дому [Электронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.modulo-pi.com/showcase/bassins-de-lumieres/> (дата звернення: 06.06.2022).